

الطبعة
الثانية

الكوكب المميز

كيف صُمِّم موقعنا في الكون للاكتشاف

تأليف : غييرمو غونزاليز
و جاي ريتشاردز

ترجمة : إيمان حسباوي

الكوْكب المُميَّز

كيف صُمِّم موقعُنا في الكون لِلاكْتِشاف؟



الكَوْكب المُميَّز

كيف صُمِّم موقعُنا في الكون لِلاكْتِشاف؟

غييرمو غونزاليز وجاي ريتشاردز

ترجمة

إيمان حسباوي



الكوْكب المُميَّز

غييرمو غونزاليز وجاي ريشاردز

الطبعة الثانية

١٤٤٢هـ/٢٠٢٠م

«الآراء التي يتضمنها هذا الكتاب
لا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر المركز»



Business center 2 Queen
Caroline Street, Hammersmith,
London W6 9DX, UK

www. Takween-center.com
info@Takween-center.com

المورع المعتمد
+966555744843
المملكة العربية السعودية - الدمام
+201007575511
مصر - القاهرة

الفهرس

المؤلفان

* غييرمو غونزاليز: أستاذ مساعد وباحث في علم الفلك والفيزياء في جامعة ولاية أيوا (Iowa State University)، حصل على درجة الدكتوراه في علم الفلك من جامعة واشنطن، وأجرى أبحاث ما بعد الدكتوراه في جامعة تكساس، أوستن، وفي جامعة واشنطن. تلقى غونزاليز العديد من درجات الزمالة والمنح ونال عدداً من الجوائز من وكالة ناسا الفضائية (NASA)، وجامعة واشنطن، وجمعية الأبحاث العلمية (Sigma Xi) التابعة لجامعة كورنيل، والمؤسسة الوطنية للعلوم (National Science Foundation)، كما أن له أكثر من ستين بحثاً علمياً محكماً.

* جاي دبليو ريتشاردز: هو نائب رئيس معهد ديسكفري في مدينة سياتل الأمريكية وأحد كبار أعضائه البارزين. حصل على درجة الدكتوراه مع مرتبة الشرف في الفلسفة واللاهوت من جامعة برينستون اللاهوتية الإكليركية، وله العديد من المؤلفات والمقالات الأكاديمية والعامة. قام بتأليف وتحرير الكثير من المؤلفات في العلوم الطبيعية، والفلسفة، واللاهوت، منها على سبيل المثال: «Are we Spiritual Machines?: Ray Kurzweil versus the Critics of Strong A.I».

المقدمة

إن الاكتشاف هو رؤية ما يراه الجميع والتفكير فيما لم يخطر ببال أحد.

ـ ألبرت فون سينت ـ غيورغي[(١)]

في ليلة عيد الميلاد سنة ١٩٦٨م، كان رواد مهمة أبولو ٨ ـ فرانك بورمان (Frank Borman)، جيمس لوفيل (James Lovell)، ووليام أندرس (William Anders) ـ أول من رأى من البشر الجانب الآخر من القمر[(٢)] كانت اللحظة تاريخية بقدر ما كانت محفوفة بالخطر: فقد انتُزِعوا من جاذبية الأرض وقُذفوا في الفضاء من صاروخ (زحل ٥) الضخم الذي بالكاد تم اختباره. ومع أن إحدى مهامهم الأساسية كانت تتمثل في التقاط صور للقمر بحثاً عن مواقع الهبوط المستقبلية ـ وقد تم بالفعل أول هبوط لهم على سطح القمر بعد سبعة أشهر فقط ـ يربط كثيرون مهمتهم بصورة مختلفة تعرف باسم «شروق الأرض» (Earthrise). (انظر: اللوحة ١)

وبخروج رواد الفضاء من الجانب الآخر للقمر خلال مدارهم الرابع،

---

(١) I. Good, ed., The Scientist Speculates (New York : Basic Books, 1962), 15.

(٢) على الرغم من أن البعثات غير المأهولة دارت القمر وقامت بتصوير الجانب الذي لا يواجه الأرض (يطلق عليه عادة الجانب المظلم للقمر وهو اسم غير دقيق)، كان أبولو ٨ أول بعثة مأهولة تخترق قيد جاذبية الأرض وتدور حول القمر. للاطلاع على قصة أبولو ٨، انظر:

Robert Zimmerman's fast-paced and moving account in *Genesis: The Story of Apollo 8: The First Manned Flight to Another World* (New York: Dell, 1998).

استقرُّوا في مكانهم انبهاراً لرؤيتهم الأرض كدوامة لامعة مرهفة من الأزرق والأبيض، في مقابل الأفق القمري القاحل أحادي اللون[١] لم يسبق للأرض أن بدت صغيرة جدّاً للعين البشرية، وما كانت أبداً مركز اهتمام قبل ذلك.

ولتخليد أهمية الحدث وحدوثه عشية عيد الميلاد، قرر الطاقم بعد الكثير من المداولات، قراءة الكلمات الافتتاحية من سِفْر التكوين: «في البداية، خلق الله السماوات والأرض...» فألقي صدى القراءة التي بثت على الهواء مباشرة، والصمت الموقّر الذي أعقبها، إلى ما يقدر بمليار مشاهد تقريباً، وكان أكبر جمهور موحد في التاريخ التلفزيوني.

في كتابه الأخير عن مهمة أبولو ٨، لاحظ **روبرت زيمرمان** (Robert Zimmerman) أن رواد الفضاء لم يختاروا الكلمات كتعبير ديني أبرشي، بل «لتشمل مشاعر ومعتقدات أكبر عدد ممكن من الناس»[٢] بالفعل، لما نظر غالبية سكان الأرض إلى عجائب الطبيعة أو صورة «شروق الأرض» المذهلة لأبولو ٨، رأوا عظمة تصميم مهيب. لكن رأياً مختلفاً جدّاً يؤكد أن وجودنا الأرضي ليس عاديّاً فحسب بل عديم الأهمية وبلا غاية. يجسد عالم الفلك الراحل **كارل ساجان** في كتابه «نقطة زرقاء باهتة» (*Pale Blue Dot*) هذا الرأي ويشير أيضاً إلى صورة أخرى للأرض (انظر: اللوحة ٢) **التقطها** فوياجر ١ (Voyager 1) سنة ١٩٩٠م على مسافة أربعة مليارات ميلاً تقريباً:

> تبدو الأرض وكأنها تستقرّ في شعاع من الضّوء بسبب انعكاس أشعّة الشّمس، كما لو أنّ لهذا العالم الصّغير أهمّية خاصّة. لكنّه مجرّد حادث بصري هندسي... فادّعاؤنا وتصوّرنا لأهمّيتنا الذّاتية ووهم أنّنا نحتلّ مكانة متميّزة في الكون، يتحدّى نقطة الضّوء الشّاحب هذه. إنّ كوكبنا بقعة وحيدة في

---

(١) يَعرفه معظم الناس بالنسخة الملونة لصورة شروق الأرض التي التقطها بيل أندرس. (Bill Anders) وتظهر غالباً مع منظر قمري يقع في الجزء السفلي من الصورة، والأرض تعلوه من فوق. التقط أندرس الصورة مع تموضع القمر في اليمين، بما أنه فهم أنهم يدورون حول القمر وفق خط الاستواء. وبعد فترة قصيرة التقط فرانك بورمان (Frank Borman) صورة بالأسود والأبيض والأفق القمري في الأسفل. عادة ما تزيح الطبعات الشائعة صورة أندرس الملونة تسعين درجة لكي يتم توجيهها بنفس اتجاه صورة بورمان. انظر:
Zimmerman, *Genesis:* The Story of Apollo 8, 200, for discussion.

(٢) المرجع نفسه، ص٢٣٤.

الظّلام الكوني الضّخم الحالك. في هذه الفساحة المظلمة، ليس هناك إشارة إلى أن يد العون ستمتدّ إلينا من مكان آخر لتنقذنا من أنفسنا[١]

لكن هذا الافتراض الكئيب قد يكون مخطئاً وإن بدا بطوليّاً. ولعله ينبغي على المعرفة العلمية الجديدة المكتسبة خلال القرن الماضي المدعمة بالإنجازات التكنولوجية التي لم يسبق لها مثيل، أن تساهم ـ إن كان تفسيرها صحيحاً ـ في الرفع من تقدير مكاننا في الكون. نأمل في الصفحات التالية أن نثبت هذه الإمكانية باستحضار خاصية صارخة للعالم الطبيعي، خاصية راسخة في أدلة الطبيعة على نطاق واسع بقدر اتساع آثارها وامتدادها. بعبارة بسيطة، تجعل الظروف التي تسمح بوجود الحياة الذكية على الأرض كوكبنا ملائماً ملاءمة عجيبة لمراقبة الكون وتحليله.

وحقيقة أنّ غلافنا الجوي غلاف نقي؛ وأن قمرنا ذو حجم مناسب، وأنّه يبعد عن الأرض بمسافة مناسبة، وأنّ جاذبيته تُثبِّت دوران الأرض؛ وأنّ موقعنا في مجرّتنا هو ذلك الموقع بالضّبط؛ وأنّ كتلة شمسنا وتكوينها دقيقان ـ كل هذه الحقائق والكثير غيرها ليست ضرورية لصلاحية الحياة على الأرض فحسب؛ بل حاسمة فيما يتعلّق باكتشاف الكون وإجراء العلماء قياساتهم فيه. فموقع الإنسان مضبوط بشكل استثنائي لفكّ شفرات الكون. هل كنّا في هذه القضية محظوظين فقط؟ إذا قمت بفحص الكون مستعيناً بأفضل أدوات العلم الحديث فإنك ستجد أن المكان الذي يتوفر على الظروف المناسبة للحياة الذكية سيمنح سكانه أيضاً رؤية واضحة ومميزة للكون. هذه الأماكن التي تسمى بالمناطق الصالحة للحياة نادرة في الكون، ومن المحتمل أن تخلوَ هي أيضاً من الحياة. لكن إذا كانت هناك حضارة أخرى، فإنها ستحظى أيضاً بنقطة مراقبة واضحة للبحث في الكون، وربما للعثور علينا.

وبعبارة أكثر تقنية وشمولية، يبدو أن «قابلية القياس» ترتبط بـ«صلاحية الحياة»[٢] هل هذا الارتباط مَحْضُ صدفة غريبة؟ وإن كان له تفسير، هل هو

---

(١) Carl Sagan, *Pale Blue Dot* (New York: Ballantine Books, 1994), 7.

(٢) سنشير في بقية الكتاب إلى هذا الادعاء اختصاراً بـ«الارتباط» (the correlation).

مهم؟ نعتقد أنه كذلك، لا لشيء إلا لأن هذه الأدلة تناقض فكرة شائعة يطلق عليها اسم **المبدأ الكوبرنيكي**، أو **مبدأ العادية** (Principle of Mediocrity). يحمل هذا المبدأ في طيه أكثر من الملاحظة البسيطة التي ترى أن الكون لا يتمحور أساساً حول الأرض. ويراه كثيرون امتداداً ميتافيزيقيّاً لهذا الادعاء. ووفقاً لهذا المبدأ، أزاح العلم الحديث منذ عهد **كوبرنيك**، البشر من «مركز» الكون، وأثبت أن الحياة والظروف التي تتطلبها ليست استثنائية وغير مقصودة طبعاً.

وباختصار، فهو يلزم العلماء أن يفترضوا أن موقعنا ـ سواء الفيزيائي أو الميتافيزيقي ـ، ليس خاصّاً. وعادة ما يعبّر عما يدعوه الفلاسفة بالطبيعانية أو المادية ـ وهو المذهب القائل: إن العالم المادي هو «كل ما هنالك، أو كان، أو سيكون»، بعبارة **كارل ساجان**(١)

يفترض معظم العلماء، تبعاً للمبدأ الكوبرنيكي أن نظامنا الشمسي نظامٌ عاديٌّ، وأن ظهور الحياة في شكلٍ ما في مكان آخر غير الأرض يجب أن يكون مُحْتَمَلاً جدّاً، نظراً لحجم الكون الواسع وعمره المديد.

---

(١) Carl Sagan, *Cosmos* (New York: Ballantine Books, 1993), 4.

وهو ملخص مناسب للمادية أو قريبتها، نسبيّاً، الطبيعانية. تربط الماديةَ صلةٌ وثيقة بالاتجاه الفلسفي المنسي الملقب بالوضعية. يأمل الوضعيون تطهير عالم الميتافيزيقا باسم العلم، لكن هذه الحركة انهارت جراء تناقضاتها الداخلية قبل عقود قليلة، وكان لها تعبيرات مختلفة. حاول الوضعيون أن يربطوا كل لغة ذات معنى، أو كل لغة «علمية» على الأقل، بما يمكن التحقق منه بواسطة الحواس. وقد سمح الوضعيون **المناطقة** بالحقائق المنطقية؛ كمعطيات حسية. فأسفر هذا المنهاج عن فوضى من المشاكل المفاهيمية. ولعل أصعبها كان: أيّاً كان المعيار الذي حاول الوضعيون تأسيسه للتخلص من «الميتافيزيقا» كان ينتهك نفسه لا محالة. فعلى سبيل المثال، الادعاء الذي يقول: إن القضايا التي يمكن التحقق منها بواسطة الحواس هي وحدها قضايا ذات معنى، لا يمكن التحقق منه بواسطة الحواس، ما يعني أنه ـ طبقاً لما يدعيه ـ بلا معنى، أو «غير علمي» على الأقل.

ومع ذلك، فإن روح الوضعية العامة تعيش بين الميّالين إلى المادية، على الرغم من افتقارها إلى التأسيس الفلسفي. وقد جادل بعض الفلاسفة مؤخراً أنه من المثير للسخرية، أن المادية نفسها تقوض الواقعية العلمية التي يفترضها كل العلماء تقريباً. انظر على سبيل المثال:

Roger Trigg, *Rationality & Science: Can Science Explain Everything?* Oxford: Blackwell, 1993), 80-101.

والحجة الأكثر تقنية لروبرت كونز Robert Koons في:

Realism Regained: An Exact Theory of Causation, Teleology, and the Mind (New York: Oxford University Press, 2000), 222-232, and Michael C. Rea, *World Without Design: The Ontological Consequences of Naturalism* (Oxford: Clarendonn Press, 2002).

وبناء على ذلك، افترض أغلبهم أنه من الممكن أن يعج الكون بالحياة. ففي أوائل الستينات ـ مثلاً ـ اقترح الفلكي **فرانك دريك** (Frank Drake) معادلته التي أصبحت تعرف فيما بعد باسم **معادلة دريك**، والتي حاول فيها وضع العوامل اللازمة لوجود حضارات خارج كوكب الأرض تستطيع استخدام إشارات الراديو للتواصل. وكان من هذه العوامل: ثلاثةُ عواملَ فلكية، وعاملَيْنِ بيولوجيين، وعاملين اجتماعيين. تتراوح من معدل تشكل النجوم إلى العمر المحتمل للحضارات التي يفترض أنها قادرة على التواصل مع حضارات الكواكب الأخرى[١] ومع أن الطابع الحدسي يطغى على معادلة دريك، إلا أنها ساهمت في تقويم النقاش، وأصبحت جزءاً من كل مناقشة مستفادة حول إمكانية الحياة الخارجية. وبعد عشر سنوات، حدس زميل **دريك**، **كارل ساجان** متفائلاً، باستخدام معادلة دريك أن مجرة درب التبانة وحدها قد تحتوي على ما يصل إلى مليون حضارة متقدمة.

ثم وجد هذا التفاؤل تعبيره العملي مع «البحث عن ذكاء خارج كوكب الأرض» أو **السيتي** (SETI: Search for Extraterrestrial Intelligence)، وهو مشروع يقوم باستطلاع أنحاء الكون لالتقاط إرسالات الراديو التي تحتوي على «بصمات» الذكاء الخارجي. يسعى السيتي إلى الحصول على أدلة حقيقية يمكن أن تقنع ـ إذا ما تم اكتشافها ـ معظم الناس المنفتحين بوجود الذكاء الخارجي. في حين يعتمد بعض دعاة (ونقاد) الذكاء الخارجي على الحسابات التقديرية. على سبيل المثال، جادل مُنظّر الاحتمال **أمير أكزيل** (Amir Aczel) مؤخراً أن الحياة الذكية في مكان آخر في الكون يقينٌ نظريٌّ. وهو متأكد جدّاً لدرجة أنه لقب كتابه بعنوان «الاحتمال الأول: لماذا يجب أن تكون هناك حياة ذكية في الكون؟» (*Probability One: Why There Must Be Intelligent Life in the Universe*)[٢]

---

(١) انظر المناقشة في:

Steven J. Dick, *Life on Other Worlds: The 20th Century Extraterrestrial Life Debate* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 209 2200.

(٢) Amir Aczel, *Probability 1: Why There Must Be Intelligent Life in the Universe* (New York: Harcourt Brace, 1998).

ومع أن الأمر مثير لبعضنا ممن نشأوا في فترات ستار تريك (*Star Trek*) وغيره من أعمال الخيال العلمي البينجمي الرائعة، فإن هذا اليقين يقع في غير محله. وعلى ضوء الاكتشافات الحديثة لمجموعة متنوعة من المجالات ومن الفرع الجديد لعلم الأحياء الفلكي تلاشى هذا الحماس الساذج بشأن الكائنات الفضائية.

تشير الأدلة المتزايدة إلى أن الظروف اللازمة للحياة المعقدة نادرة للغاية، وأن احتمال تقاطعها في مكان وزمان واحد ضعيفٌ جدّاً. وبدأ بعض العلماء يأخذون هذه الحقائق على محمل الجدِّ؛ ففي سنة ١٩٩٨م ـ مثلاً ـ تحدى عالم الكواكب الأسترالي **ستيوارت روس تايلور** (Stuart Ross Taylor) الرأي الشائع أن الحياة المعقدة كانت منتشرة في الكون. وشدد على أهمية أحداث الصدفة النادرة التي شكلت نظامنا الشمسي، مع تموقع الأرض مصادفة في منطقته الضيقة الصالحة للحياة[(١)] وقد جادل خلافاً لتوقعات معظم علماء الفلك أنه لا ينبغي أن نفترض أن الأنظمة الكوكبية الأخرى تشبه نظامنا.

وبالمثل، نقل كل من عالم الحفريات **بيتر وارد** (Peter Ward) وعالم الفلك **دونالد براونلي** (Donald Brownlee)، من جامعة واشنطن، في كتابهما المهم «الأرض النادرة: لماذا الحياة المعقدة غير شائعة في الكون؟» (*Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*)[(٢)]، مناقشة هذه الحقائق من الحدود الضيقة لعلم الأحياء الفلكي إلى جمهور متعلم واسع[(٣)] ركز **وارد** و**براونلي** على العوامل الفلكية والجيولوجية المتعددة وغير المحتملة التي اتَّحدت لتعطي الحياة المعقدة فرصة للتواجد على الأرض.

ومن الواضح أن هذه الآراء تتحدى المبدأ الكوبرنيكي، لكن **تايلور**، **ووارد**، **وبراونلي** ساروا على منهجه مع أنها كانت تشكل تحدّياً لرسالة المبدأ.

---

(١) Stuart Ross Taylor, *Destiny or Chance: Our Solar System and Its Place in the Cosmos* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998).

(٢) Peter Ward and Donald Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe* (New York: Copernicus, 2000).

(٣) يواصل غونزاليس بمعية وارد وبراونلي، البحث التقني لإثبات هذه الفرضية. انظر:
Gonzalez, Brownlee, and Ward, "The Galactic Habitable Zone: Galactic Chemical Evolution", *Icarus* 152 (2001): 185-2000.

فهم ما زالوا يفترضون ـ مثلاً ـ أن أصل الحياة هو في الأساس مسألة الحصول على الماء السائل في مكان واحد على مدى بضعة ملايين من السنين. ونتيجة لذلك، فهم لا يزالون يتوقعون أن تكون حياة ميكروبية «بسيطة» منتشرة في الكون، والأهم من ذلك، أنهم ما زالوا يحافظون جميعاً على إيمانهم مع المنظور الشائع الذي يخضع للمبدأ الكوبرنيكي في شكله الأكثر امتداداً. ويقولون: إنه على الرغم من أن حياة الأرض المعقدة والظروف النادرة التي تسمح بوجودها غير محتملة للغاية، أو ربما خاصة، فإن هذه الظروف لا تعدو عن كونها أكثر من مجرد حظ غير مقصود[١]

علق **بيتر وارد** في محاضرة له بعد نشر «الأرض النادرة» قائلاً: «إننا محظوظون فقط بشكل لا يصدق. كان على شخص ما أن يفوز في اليانصيب الكبير، فكنا نحن الفائزون».

لكننا نعتقد أن هناك تفسيراً أفضل، ولرؤية هذا، علينا أن ننظر في هذه التوجهات الحديثة حول صلاحية الحياة ـ الشروط اللازمة للحياة المعقدة ـ تحاذياً مع الشروط المتعلقة بقابلية القياس؛ تشير قابلية القياس إلى تلك السمات الكونية ككل، وخاصة إلى الموقع المتميز في الكون ـ في كلٍّ من الزمان والمكان ـ والتي تسمح لنا بأن نلتقط، ونراقب، ونكتشف ونحدد حجم الكون المادي وعمره وتاريخه وقوانينه وغيرها من الخصائص. فهي التي تجعل الاكتشاف العلمي ممكناً. وإن الدرجة التي يمكننا أن نصلها في «قياس» الكون الشاسع ـ وليس فقط المناطق المجاورة لنا ـ مدهشة، مع أن العلماء لا يناقشون هذا الأمر في كثير من الأحيان. يفترض كثير من العلماء افتراضاً مسبقاً؛ قابلية قياس العالم المادي: فهو قابل للقياس لأنهم وجدوا طرقاً لقياسه. إذا قرأت أي كتاب في تاريخ الاكتشاف العلمي فإنك تجد قصصاً عظيمة للذكاء الإنساني

---

(١) يضعها ستيوارت روس تايلور Stuart Ross Taylor في عبارة صريحة لطيفة:
إن رسالة هذا الكتاب واضحة لا لبس فيها: لقد حدثت صدف كثيرة في تطور النظام الشمسي لدرجة أنه إذا كان هناك أي قصد أصلي، فقد تم فقدانه. وفوق هذه الأحداث التصادفية من العالم المادي نجد منها المتعلقة بالتطور البيولوجي، التي تمكنت من إنتاج كائن واحد ذكي للغاية من أصل عشرات المليارات من المحاولات خلال الأربعة المليارات سنة الماضية. في *Destiny or Chance*، ٢٠٤.

والمثابرة والحظ، لكنك لن تجد في أي مناقشة الشروط اللازمة التي خوّلت هذه الإنجازات، والظروف التي ضُبطت ضبطاً لا يمكن تصوره لتسمح بالاكتشافات العلمية التي تتطلب تفسيراً أفضل من مجرد الصدفة.

ومع ذلك؛ فإن حجتنا دقيقة وتستوجب شرحاً.

أولاً، نحن لا نقول: إن كل شرط للقياس قاصر قصوراً مثاليّاً **واستثنائيّاً** على سطح الأرض، ولا نقول: إنه من السهل دائماً إجراء القياس والقيام بالاكتشافات العلمية. إنما نقول: إن ظروف الأرض تسمح بتنوع مذهل من القياسات، من علم الكونيات وعلم الفلك المجرّي إلى الفيزياء الفلكية النجمية والجيوفيزياء؛ وتسمح بهذا التنوع الغني للقياس أكثر بكثير مما لو كانت الأرض مناسبة تماماً لنوع واحد فقط من أنواع القياس.

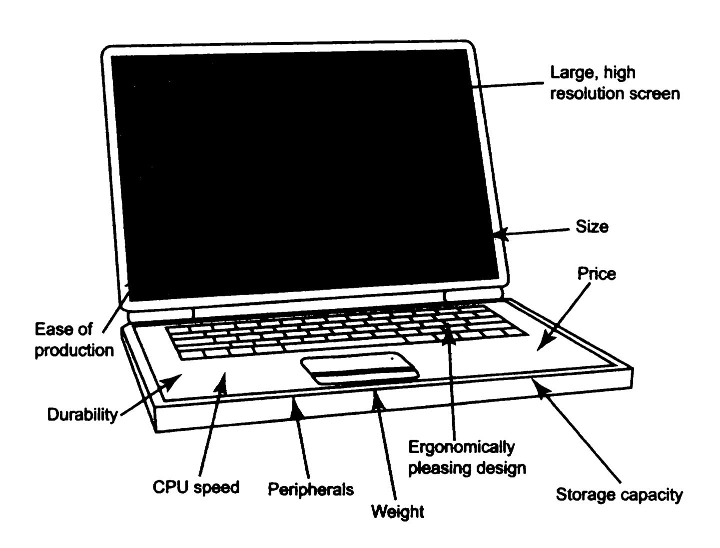
فمثلاً؛ يمكن أن يكون الفضاء البينمَجَرِّيّ البعيد عن أي نجم موقعاً أفضل لقياس بعض الظواهر الفلكية البعيدة من سطح أي كوكب ذي غلاف جوي؛ لأنه سيحتوي على ضوء وتلوث جوي أقل. لكن قيمته في معرفة تفاصيل تشكل النجوم والبنيات النجمية أو اكتشاف قوانين الميكانيكا السماوية، ستكون تقريباً بلا فائدة، وبالمثل: يمكن أن يكون كوكب ما في سحابة جزيئية عملاقة في ذراع حلزوني مكاناً رائعاً لمعرفة المزيد عن تشكل النجوم والكيمياء البينجمية، لكن رؤية الكون البعيد لن تكون ممكنة بالنسبة للمراقبين هناك، وفي المقابل تقدم الأرض رؤية جيدة بشكل مدهش للكون البعيد والقريب مع توفيرها منصة فعالة لاكتشاف قوانين الفيزياء.

عندما نقول: إن المواقع الصالحة للحياة هي «الأمثل» بالنسبة للاكتشافات العلمية؛ فإنه يقع في أذهاننا التوازن الأمثل للشروط المتضاربة. يطلق المهندس والمؤرخ **هنري بيتروسكي** (Henry Petroski) على هذا اسم الإمثال المقيد (constrained optimization) في كتابه الموضِّح «اختلاق بتصميم» (*Invention by Design*): «ينطوي كل تصميم على أهداف متضاربة وبالتالي على توفيق بينها، وأفضل التصاميم هي تلك التي تأتي بأفضل حلٍّ توفيقي»[(١)] ولإيراد مثال

---

(١) Henry Petroski, *Invention by Design* (Cambridge: Harvard University Press, 1996), 30.

مألوف، فكر في جهاز الكمبيوتر المحمول. يسعى مهندسو الحاسوب لتصميم حواسيب محمولة تتوفر على أفضل توفيق بين مختلف العوامل المتضاربة. تُفضّل الشاشات ولوحات المفاتيح الكبيرة على الصغيرة، مع تساوي العناصر الأخرى. لكن في حاسوب محمول، لا شيء متساوٍ؛ إذ يجب على المهندس التوفيق بين أمور؛ مثل: سرعة وحدة المعالجة المركزية (CPU)، وسعة القرص الصلب، والملحقات، والحجم، والوزن، ودقة الشاشة، والتكلفة، والتصميم، والتقانة، وسهولة الإنتاج، وما شابه ذلك؛ لذلك فإن أفضل تصميم سيكون أفضل توفيق. (انظر: الشكل ٠,١) وبالمثل، إذا كنا سنقوم باكتشافات في مجموعة متنوعة من المجالات من الجيولوجيا إلى علم الكونيات، فإنه يجب أن تكون بيئتنا المادية توفيقاً جيداً للعوامل المتضاربة، بيئة تستوفي مجموعة كاملة من «العتبات» للاكتشاف أو تجاوزها.



● **الشكل ٠,١: الحاسوب المحمول ـ كالعديد من الأشياء المصممة تصميماً جيداً ـ مبيناً «الإمثال المقيد». إن الحاسوب المحمول الأمثل أو الأفضل تصميماً هو الذي يتميز بأفضل توازن وأحسن توفيق للعوامل المتضاربة المتعددة.**

فمثلاً؛ يجب تحقيق عتبة للكشف عن إشعاع الخلفية الكونية الذي يتخلل الكون كنتيجة للانفجار العظيم. (والكشف عن شيء ما، بطبيعة الحال، شرط ضروري لقياسه). إذا حجز غلافنا الجوي أو النظام الشمسي هذا الإشعاع، أو

إذا كنا نعيش في الزمن المستقبلي حيث سيختفي إشعاع الخلفية تماماً، فإن بيئتنا لن تصل إلى العتبة اللازمة لاكتشافه وقياسه، وبما أن الأمر ليس كذلك، فإن بيئة كوكبنا تستوفي هذا الشرط. في الوقت نفسه، يمكن أن يمنحنا الفضاء البيمجري «رؤية» أفضل جزئيّاً لإشعاع الخلفية الكونية، لكن ربما يقابل هذا التحسن فقدان ظواهر أخرى لا يمكن قياسها من الفضاء السحيق؛ مثل العمليات الطباقية الغنية بالمعلومات على سطح كوكب أرضي؛ لذا فإن الموقع الأمثل للقياس هو الذي يحقق عدداً كبيراً ومتنوعاً من هذه العتبات من أجل قابلية القياس، ويجمع بين عدد كبير ومتنوع من العناصر التي تحتاج إلى قياس. هذا هو المعنى الذي نفكر أن تكون عليه بيئتنا المحلية البيئة المثلى للاكتشافات العلمية[1] وبالمعنى الحقيقي فالكون، ونظامنا الشمسي، وكوكبنا الاستثنائي مختبر في حدِّ ذاته، والأرض أفضل منضدة للعمل فيه.

والأكثر غموضاً من حقيقةِ أن موقعنا مناسب جدّاً لقياس واكتشاف متنوعين هو أن هذه الظروف ربما ترتبط بصلاحية الحياة. وهذا أمر غريب؛ لأنه لا يوجد سبب واضح لنفترض أن نفس الخصائص النادرة التي تسمح بوجودنا ستوفر أيضاً أفضل موقع عام لاكتشاف العالم من حولنا. ونحن لا نعتقد أن هذا مجرد صدفة؛ بل ينزع إلى تفسير آخر، وهو تفسير يشير إلى أن هناك المزيد مما يتعلق بالكون مما كنا نفكر فيه أو نتخيله.

---

(١) إننا نعتبر فقط ـ بحسب ما يقتضيه الذكر في هذا الموضع ـ العلوم «الرصدية» مثل الجيولوجيا الكوكبية المقارِنة، والفيزياء الشمسية، وعلم الفلك النجمي والمجري والكوني بدلاً من العلوم المخبرية أو التجريبية الأقل حساسية للموقع. وللتقليل من خطر «انتقاء» الأدلة التي تناسب نظريتنا فقط، وتجاهل الأدلة المضادة، اقتصرنا على الأمثلة المهمة بشكل خاص في مجالاتها. سنأخذ بعين الاعتبار ظواهر الكسوف الشمسي الكامل، عينات الجليد في غرينلاند والقطب الجنوبي، عينات أعماق البحار، حلقات الأشجار، الشعاب المرجانية، علم الزلازل، شفافية الغلاف الجوي، النيازك، الأطياف النجمية، التزيح المثلثي النجمي، النجوم كباعثة متناحية لمعلومات محددة للغاية، المستعرات العظمى والمتغيرات القيفاوية، مكاننا في درب التبانة وخمود ضوء النجم بفعل الغبار، والقدرة على مراقبة أكبر قدر ممكن من أنواع النجوم والكون البعيد، وإشعاع الخلفية، وأفق الجسيمات وأفق الحدث للكون. قد تكون هناك حجة مماثلة في بعض العلوم الرصدية أو التاريخية الأخرى؛ كعلم الآثار وعلم الحفريات، لكن لا يمكننا إدراج جميع المعلومات من كل مجال في كتاب واحد. ربما يتكلف بعض علماء الآثار الواعدين وعلماء الحفريات أنفسهم بهذه المهمة.

الباب الأول

بيئتنا المحلية

الفصل الأول

كسوفٌ رائعٌ

«لعل هذا هو شرط الحياة الكوكبية: أنّ شمسك يجب أن تناسب قمرك»

ـ مارتن أميس[1]

إلهام:

٢٤ أكتوبر ١٩٩٥م: هو التاريخ الذي انتظرت ملياً[2]

استيقظت في الخامسة صباحاً، في رفقة عدد من الفلكيين الآخرين في مجموعتنا، كان صباحاً بارداً وواضحاً في نيم كاثنا، وهي بلدة صغيرة في المنطقة الجافة من راجستان ـ الهند؛ موقع عظيم لمراقبة ظاهرة كسوف. بحلول السادسة صباحاً، كنت قد طالبت بالدخول لمجمع مخصص في ساحة محلية لإحدى المدارس، وقمت بإعداد أجهزتي العلمية. كانت هناك عدد من التجهيزات التجريبية الأخرى متناثرة حولي بالمجمع، تخص كل واحدة منها طاقماً من الفلكيين. منهم من قام بوضع تجاربه فوق أرصفة مستقرة بنيت قبل أسابيع. كانت طواقم الأخبار التليفزيونية والإذاعية منتشرة حول المجمع، ومئات من المتفرجين الفضوليين يحدقون إلينا كما لو كنا معارض لمخلوقات نادرة؛ بالرغم أن ظاهرة الكسوف لم تكن الهدف الرئيسي من رحلتي إلى الهند، إلا أني انضممت إلى العرض بناء على دعوة من المعهد

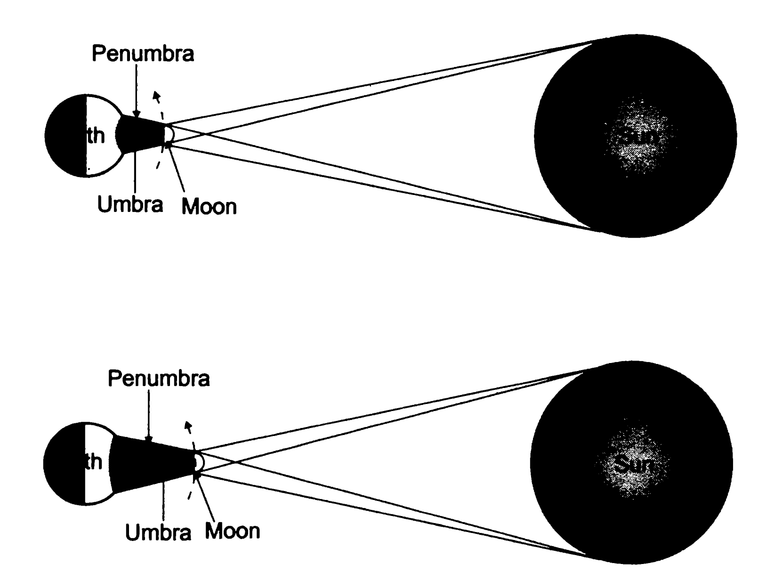
---

(١) في هذا الفصل يتحدث غيبرمو (Guillermo) بضمير المتكلم.

(٢) Martin Amis, *London Fields* (New York: Vintage Books, 1991), chap. 22.

الهندي للفيزياء الفلكية في بنغالور؛ إذ لم يكن بإمكاني أن أفوّت هذه الفرصة النادرة.

في حقيقة الأمر، وكما هو الحال بالنسبة لرقائق الثلج، لا يمكن أن نجد في الكسوف الشّمسي ظاهرتين متطابقتين تماماً، ومع ذلك يصنف علماء الفلك هذه الظواهر إلى ثلاثة أنواع: جزئية، حلقِيَّة، وكليَّة؛ في الكسوف الجزئي، يكاد القمر أن يحجب السطح النير للشمس (الفوتوسفير)[1] كله؛ أما في الكسوف الحلقي؛ فبالرغم أن مراكز كل من القمر وضوء الشّمس قد تمّر قريبة جدّاً من بعضها البعض، إلا أن قرص القمر أصغر بكثير من أن يحجب الفوتوسفير.



● **الشكل ١،١: كسوف شمسي كلي (أعلاه) مقارنة مع كسوف حلقي (أدناه). في الكسوف الكلي، يرى الملاحظون الواقعون ضمن الظل (المسقط على سطح الأرض) أن القمر يحصر الفوتوسفير بأكمله. بينما يرى الذين يقعون ضمن مجال شبه الظل كسوفاً جزئيّاً أثناء الكسوف الحلقي، يقارب مخروط ظل القمر في علوه سطح الأرض، تاركاً حلقة ساطعة من الفوتوسفير تتراءى حتى للملاحظين المتمّوضعين في أفضل مجال، لعدم تعلق الحجم والانفصال بإمكان الظهور.**

(١) في هذا الكتاب، سنعين شمسنا وقمرنا بـ«ال» تعريف لتمييزهما عن غيرهما من النجوم والأقمار.

لكي يكون الكسوف كاملاً، يجب أن يحجب ظلُّ القمر القرصَ الساطع للشمس بشكل كلي، هذا هو نوع الكسوف الذي يريد أن يراه الجميع. يرى المراقبون الذين يبعدون عن الخط المركزي للكسوف كسوفاً جزئيّاً فقط. وحده الكسوف الكلي وشبه الحلقي يعتمان السماء، بينما يمكّننا الكسوف الكلي من رؤية الكروموسفير الوردي الغريب والإكليل الأبيض الفضي. في هذه الظروف، يبدو الكروموسفير وكأنه تاج مسنن وهَشٌّ، تحيط به ألسنة لهب وردية اللون كأنها حلقة نارية. يشكل الإكليل الجزء الخارجي من غلاف جوي الشّمس، ويبعد ببضع درجات من الكروموسفير.

شهدت عدداً من ظواهر الكسوف، من بينها اثنتان من النوع الحلقي ـ سنتي ١٩٨٤ و١٩٩٤م ـ لكن هذه هي المرة الأولى والوحيدة التي أشاهد فيها كسوفاً شمسيّاً كليّاً. كانت التجربة سهلة: قياس تغيرات الحرارة، الضغط والرطوبة. وتصوير الحدث أيضاً بواسطة كاميرا ٣٥ ملم وعدسة مقربة.

كان نجاحاً باهراً، ساعدني الطقس الجيد لذلك اليوم والذي قبله في مقارنة التّغيّرات الجوية التي حدثت خلال فترة الكسوف[١] عند حجب القمر الشمس كليّاً، استطعت أن ألتقط ثلاثين صورة في غضون واحد وخمسين ثانية، كانت الأكاليل الطويل للشمس ظاهرة للعيان. وبما أني كنت مشغولاً جدّاً بالتقاط الصور، لم أَحْظَ إلا بلمحة سريعة لكسوف الشّمس بالعين المجردة. كانت اللقطة المفضلة لدي موجودة على عدسة الكاميرا ـ الشكوى المعتادة والمشتركة بين مراقبي ظواهر الكسوف.

أن تخوض تجربة الكسوف الكلي للشمس هو أمر أكبر بكثير من مجرد رؤيته؛ إنه حدث يستدعي جميع الحواس، كان انخفاض درجة

---

(١) تم نشر نتائج تجربتي في:

"Ground-Level Humidity, Pressure and Temperature Measurements During the October 24, 1995, Total Solar Eclipse", *Kodaikanal Observatory Bulletin* 13 (1997): 151-154.

انخفضت درجة الحرارة بخمسٍ وعشرين درجة فهرنهايت خلال منتصف الكسوف، مقارنة باليوم السابق.

الحرارة مؤثراً بقدر الشّمس المحجوبة والهتافات الصادرة من الحشود.

مباشرة بعد انتهاء فترة الحجب الكلي، دوَّى المكان بتصفيق تلقائي، كأنه مكافأة لمصمم رقصات الباليه على عرضه المتقن.

كان هذا رابع كسوف شمسي كلي يظهر بالهند في القرن العشرين، ومع ذلك فقد فاجأني مدى اهتمام السكان بالظاهرة، تمّ بث الحدث على التلفزيون الوطني مع إعدادات الطاقم بثلاثة أو أربعة مواقع منتشرة حول مكان الكسوف، وقام أحدهم بمشاركة موقعنا الإلكتروني. قبيل مغادرتي الهند، استلمت بنسخة من شريط الفيديو للبث التليفزيوني من طرف زميل لي. تمّ إجراء مقابلات مع عدد من العلماء حول المظاهر العلمية للكسوف الشّمسي، وناقش آخرون الأساطير والخرافات عن كسوف الشّمس في الثقافة الهندية. كان يبدو أن منتجي التليفزيون يحاولون أن يبيِّنوا أن الهند قد تخلصت أخيراً من إيمانها بالخرافات ودخلت عصر التنوير العلمي، لكن الممارسات الخرافية الشائعة من طرف الذين مكثوا ببيوتهم خاصة النساء الحوامل، تشير إلى أن هذا الدخول لم يكن ناجحاً.

وأخيراً، كان هناك هواة علم الفلك ومتتبعو ظواهر الكسوف والذين يحاولون أن يروا أكبر قدر ممكن من ظواهر كسوف الشّمس الكلي بما تسمح به فرصة العمر. يشرح متتبع الكسوف **سيرج برونير** في كتابه «كسوف متألق: ماضيه، حاضره، ومستقبله» (***Glorious Eclipses: Their Past, Present, and Future***):

كمهتمّ شغوف بعلم الفلك مذ كنت بسن الثانية عشرة، ظلت ظواهر الكسوف بالنسبة لي، ولفترة طويلة، مجرد تواريخ على التقويم الفلكي، وقد كان عليَّ أن أنتظر ـ لأسباب مهنية ـ حتى أدرك سن الثالثة والثلاثين قبل أن أشهد أول كسوف كلي، والذي كان بتاريخ ١١ يوليو ١٩٩١م من مرصد هاواي على قمة بركان ماونا كيا. إنه لمن السخف أن أقول: إني فجأة أصبحت مولعاً بالأحداث الفلكية التي تابعتها منذ ذلك الحين على مدى سنوات وشهور قمرية، في جميع أنحاء الكوكب تقريباً. في كل مرة، هناك نفس الدهشة، ومع كل مرة، ينمو شعورٌ بأن ظواهر الكسوف شيء أعظم من مجرد أحداث

فلكية، وأن الإحساس والاضطراب الداخلي اللذين تولدانه احتراماً وتعاطفاً مع الطبيعة يتجاوزان الصدمة الجمالية الخالصة لفهم المرء[1]

ويصف **برونير** تجربته الأولى في مشاهدة الكسوف الكلي:

إنه مشهد مذهل للغاية، ساحر وسماوي لدرجة أن العين تنهمر بالدموع، لم يكن ليلاً حقيقةً، لكنه غسقٌ هادئٌ يجتاح بركان ماونا كيا. على طول سلسلة الجبال كانت القبب الفضية تبدو وكأنها خيال شبح لمعبد يمتد نحو السماء. والهالة الشّمسية التي تحيط بقعة القمر المظلمة بحجاب حريري شفّاف، ينبثق منها هي الأخرى ضوءٌ لا تصفه العبارة. إنها لحظة مثالية[2]

أخبرني هواة الفلك الذين سافروا إلى الخارج لمشاهدة الكسوف الشّمسي أن ردود الفعل هي نفسها دائماً، حتى علماء الفلك المحليين والزوار كانوا مندهشين في رهبة.

إن قدرتنا على التنبؤ بظروف الكسوف الشّمسي في غضون ثانية في أي مكان على الأرض لم يضعف من الدهشة العارمة التي تنتابنا حيالها، حتى أنها لم توقف عالم فلك معاصر مثل **برونير** من وصف هذه الظاهرة الكبرى في عالم الفيزياء بالروحية والسماوية. هل هناك شيء أكبر من مجرد الآلية الميكانيكية الخاصة بحركة الشّمس والقمر والأرض كنظام فيما يتعلق بظواهر الكسوف؟ هل هناك علاقة عميقة ـ ربما ـ بين مراقبتها والحياة الواعية على سطح الأرض؟ نعتقد ذلك.

الدراسة فيزياء القمر:

أولاً، استحضر الحقيقة المعروفة التالية: يحافظ القمر الضخم على اتزان محور دوران الكوكب التابع له، مما يساهم في وجود مناخ ملائم لحياة أكثر استقراراً. يحافظ القمر التابع لكوكب الأرض على زاوية ميلان ـ وهي الزاوية الفاصلة بين محور الدوران والمحور الوهمي العمودي على مستوى دوران الأرض حول الشّمس ـ بحيث يمنعها من التفاوت بمقدار كبير[3]؛ إذ

---

(١) S. Brunier and J. P. Luminet, *Glorious Eclipses: Their Past, Present, and Future* (Cambridge: Cambridge University Press, 2000), 6.

(٢) المرجع نفسه، ص١٧.

(٣) J. Laskar et al., "Stabilization of the Earth's Obliquity by the Moon", *Nature* 361 (1993): 615-617. =

أن ميلاناً أكبر قد يتسبب في إحداث تقلبات ذات تأثير وخيم على المناخ[1] في الوقت الحاضر، تدور الأرض بزاوية ميلان مقدارها ٢٣,٥ درجة، تتراوح تغيراتها بين ٢٢,١ و٢٤,٥ درجة على بضع آلاف من السنين. لتحقيق الاستقرار، يجب أن يكون خارج قسمة كتلة القمر على كتلة الشّمس ذا قيمة مرتفعة؛ أي: أن الأجسام الصغيرة مثل أقمار المرّيخ «فوبوس» و«ديموس» ليست كافية. لو أن قمرنا كان بحجم هذين القمرين لفاقت زاوية ميلان الأرض الثلاثين درجة.

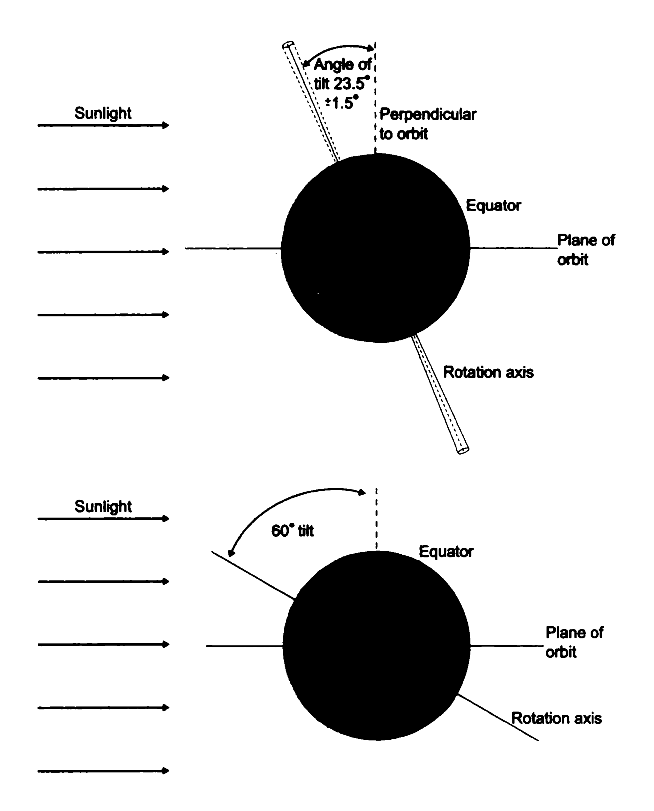
قد يبدو هذا غير مثير للاهتمام، لكن قل هذا لشخص يحاول أن يبقى على قيد الحياة على سطح أرض تقدر زاوية دورانها بـ٦٠ درجة. عندما كان القطب الشمالي يميل نحو الشّمس في منتصف فصل الصيف لمدة نصف سنة، كان على سكان معظم النصف الشمالي للكرة الأرضية أن يقضوا شهوراً من الحرارة المفرطة بشكل دائم، وتعرضت المناطق الواقعة على خطوط العرض المرتفعة لأشعَّةِ شمس حارقة، بحرارة تكفي لجعل وادي الموت في يونيو يبدو وكأنه نزهة ربيعية، ثم يلي ذلك معاناة قاسية من البرد القارسِ ممتدة على شهور بشكل مستمرٍّ خلال النصف الآخر من السنة.

= يحقق القمر استقرار ميلان الأرض؛ إذ يمارس عليها عزم دوران، مما يقلل فترة المبادرة بعامل واحد من ثلاثة، فيجنبها الوصول إلى رنين خطير. بالنسبة لكوكب ذو حجم معين، تنتج تأليفات معينة لفترة الدوران وفترة المبادرة، والفترة المدارية رنيناً يتسبب في تغير الميلان بشكل مفرط على مقياس كبير. ستقترب الأرض من هذا الرنين في حوالي ١,٥ بليون سنة مع استمرار فترة دورانها بالتباطؤ بفعل عملية المد والجزر. وبالتالي فللحفاظ على استقرار الميلان، يجب أن تتحقق عدة عوامل تتعلق بالخصائص الفيزيائية والمدارية للكوكب، كلها في وقت واحد. انظر:

O. Neron de Surgy and J. Laskar, "On the Long Term Evolution of the Spin of the Earth", *Astronomy & Astrophysics* 318 (1997): 975-9899.

يمكن أن تُنتج فترة دوران قدرها اثنا عشر ساعة أيضاً ميلاناً مستقرّاً مع القمر أو بدونه، لذلك يبدو أن الكوكب الذي يتمتع بدوران سريع ليس بحاجة إلى قمر. وإشكال هذا الحل أن الدوران العالي للأرض كان ناجماً عن حدث الاصطدام الذي كوّن القمر (انظر: أسفله). فبدا القمر كأنه يسحب تدريجيّاً الدوران العالي الذي أمدّه للأرض، وفي المقابل، حافظ على استقرار ميلانها.

(١) D. M. Williams and D. Pollard, "Earth-Moon Interactions: Implications for Terrestrial Climate and Life", *Origin of the Earth and Moon*, R. M. Canup and K. Righter, eds. (Tucson: University of Arizona Press, 2000), 513-525.



● **الشكل ١,٢: يميل محور دوران الأرض حالياً بزاوية ٢٣,٥ درجة عن الخط العمودي على مستوى دوران الأرض حول الشّمس، ويتغير بدرجتين ونصف على مدار آلاف السنين. ويعزو هذا التوازن لتأثير جاذبية القمر على الأرض. إن لم يكن القمر ضخماً بما يكفي، يمكن أن تميل الأرض بمعدل ٣٠ درجة وقد تصل حتى إلى ٦٠ درجة مما سيجعل كوكب الأرض أقل ملائمة للعيش فيه.**

ولكن الميلان الكبير ليس العامل الوحيد الذي يسبب مشاكل في ظروف الحياة؛ بالنسبة للأرض، يمكن أن يؤدي ميلان طفيف إلى فصول معتدلة، لكنه سيمنع الأمطار من أن تتوزع على أوسع مجال ممكن من سطح الأرض. مع زاوية ميلان تقدر بـ٢٣,٥ درجة، تتغير أنماط الرياح على مدار السنة، مصاحبة لأمطار موسمية لمناطق كانت لتبقى جافة لولا سقوطها. وهذا ما يجعل معظم المناطق تتلقى بعض الأمطار. الكواكب التي زاوية ميلانها صغيرة جدّاً إلى منعدمة، قد تكون بها مساحات شاسعة من الأراضي القاحلة.

يساعد القمر في إمكانية الحياة على الأرض برفعه لمستوى حركة المد والجزر، والتي تسهم في خلط المواد الغذائية بين اليابسة والبحار، فتتكون

منطقة خصبة حيث تغمر مياه البحر اليابسة بشكل دوري. (بدون القمر، ستكون حركتا المد والجزر على الأرض بقوة مقدارها الثلث، وسيبقى المد الاعتيادي الواقع بتأثير جاذبية الشمس).

حتى وقت قريب جدّاً، اعتقد علماء المحيطات أن حركة المد الناتجة عن طاقة القمر تتبدد على سطح المحيطات، ثم تبين أن حوالي ثلث هذه الطاقة تنتشر على طول المناطق الوعرة لقاع المحيط العميق، وقد يكون هذا هو المحرك الرئيسي لتيارات المحيط[١] تنظم هذه التيارات القوية المناخ من خلال توزيع كميات هائلة من الحرارة[٢] فلو كانت الأرض تفتقر إلى حركة المد والجزر الواقع بتأثير القمر، لبدت «سياتل» أقرب إلى سيبيريا الشمالية من الأرض الناضرة المعتدلة «مدينة الزمرد».

يعتبر أصل القمر جزءاً مهمّاً من تاريخ الحياة. في الوقت الحاضر، يفترض السيناريو الأكثر شهرة أن تَشَكُّلَ القمر نتج عن ضربة خاطفة للأرض في مراحل تشكلها الأولى بجسم أضخم بعدة مرات من المريخ[٣]

---

(١) إن التنبؤ بأن الرياح وحركات المد والجزر هما المحركان الرئيسيان للتيار العالمي للمحيطات قد أقيم على يد مونك (W. H. Munk) ووُنش (C. Wunsch)، في:
"Abyssal Recipes II: Energetics of Tidal and Wind Mixing", Deep-Sea Research 45 (1998): 1977-2010.
وقد تم تأكيد تنبؤهما من البيانات التي تم استمدادها بواسطة القمر الصناعي الألتميري (يقيس الارتفاع) توبيكس/بوسيدون:
Topex/Poseidon: G. D. Egbert and R. D. Ray, "Significant Dissipation of Tidal Energy in the Deep Ocean Inferred from Satellite Altimeter Data", Nature 405 (2000): 775-7788.

(٢) يلاحظ أحد علماء المحيطات ممن اقترحوا نظرية المد والجزر في البحر العميق: «يبدو أن حركات المد والجزر جزء معقد من قصة تغير المناخ، كتاريخ المدار القمري».
C. Wunsch, "Moon, Tides, and Climate", Nature 405 (2000): 744.

(٣) تشير الحسابات إلى أنه من الممكن أن القمر قد تشكّل بفعل اصطدام منحرف لجسم تقدر كتلته مرتين إلى ثلاث مرات كتلة المريخ عندما تشكل نصف الأرض تقريباً.
A. G. W. Cameron, "Higher-Resolution Simulations of the Giant Impact", in Origin of the Earth and Moon, R. M. Canup and K. Righter, eds. (Tucson: Univ. of Arizona Press, 2000): 133-144.
وتشير عمليات المحاكاة الحاسوبية الأخرى إلى أنه من المرجح أن الاصطدام حدث قرب نهاية تشكل الأرض ومع جسم صادم بكتلة المريخ.
R. M. Canup, and E. Asphaug, "Origin of the Moon in a Giant Impact Near the End of the Earth's Formation", Nature 412 (2001): 708-712.
هذه المجموعة الحديثة من دراسات المحاكاة تجعل من تشكل القمر حدثاً أكثر احتمالاً مما تشير إليه محاكاة كاميرون؛ لأن الأجسام الصادمة الأصغر حجماً هي الأكثر شيوعاً مقارنة بالأجسام =

يمكن أن يكون هذا الاصطدام العنيف هو ما ساعد بشكل غير مباشر على وجود الحياة؛ إذ من المحتمل أنه أعان على تكوّن اللب الحديدي للأرض عن طريق ذوبان الجسم الضخم، مما سمح للسائل الحديدي بالنفاذ إلى جوفها كليّاً[1] وهذا بدوره، كان ضرورياً لخلق حقل مغناطيسي متين، يحافظ على الحياة كما سنشرح لاحقاً. بالإضافة إلى ذلك، فلو بقيت كمية أكبر من الحديد على مستوى القشرة، لاستغرق الغلاف جوي وقتاً أطول لكي يتمّ تزويده بالأوكسجين، ذلك أنّ الحديد الموجود على السّطح يمكن أن يستهلك الأوكسجين الحرّ للغلاف جوي. كما يعتقد أن الاصطدام أيضاً قد أزال جزءاً من القشرة الأصلية للكرة الأرضية، ولو أن هذا لم يحدث لحالت القشرة السّميكة دون وقوع تكتونية الصّفائح، التي تمثّل عنصراً أساسيّاً في إمكانية الحياة على الكوكب. باختصار، لو كانت الأرض بدون قمر، لما كنا هنا[2]

بطبيعة الحال، من أجل حدوث الكسوف نحتاج إلى اتّحاد ثلاثة عناصر: نجم، وكوكب، وقمر خاص به. يمكن للكسوف الكلّي أن يحدث مع قمر أو نجم أكبر أو أصغر، طالما أنّ لهذه العناصر الأحجام النّسبية الصّحيحة والمسافات المناسبة الفاصلة بينها. لكن باعتبار عاملين: الدّاعم الكامن للحياة

= الكبيرة. والاحتياط هنا أمر لائق؛ لأن هذا مجال بحث سريع التطور.

(١) تساعد القياسات الأخيرة لنظائر التنغستن في الأرض والنيازك الأولية على تأسيس زمن تشكل النواة الحديدية في الأرض، وتأكيد مساهمة القمر في هذا الحدث. وهذا ممكن لأن الهافنيوم المشع يظهر في وقت مبكر (مع نصف عمر قدره تسعة ملايين سنة، ليتحلل بعد ذلك إلى التنغستن) للتنغستن تآلفات مختلفة مع الحديد. وهكذا، فعندما تشكلت النواة، تسرب بعض التنغستن مع الحديد إلى الأسفل بينما بقي الهالفنيوم في الرداء والقشرة. وتشير البيانات أن النواة تشكلت حوالي ثلاثين مليون سنة بعد بداية النظام الشمسي، وهو تقريباً نفس الوقت الذي يعتقد أن القمر قد تشكل فيه. انظر:

R. Fitzgerald, "Isotope Ratio Measurements Firm Up Knowledge of Earth's Formation", *Physics Today* (January 2003): 16-18.

والمراجع المذكورة فيه.

(٢) لبيان الطرق العديدة التي تبرز أهمية القمر بالنسبة للحياة على الأرض، بشكل مُسَلٍّ ومفيد، وتأملي أحياناً، انظر:

N. F. Comins, What If the Moon Didn't Exist?: Voyages to Earths That Might Have Been (New York: HarperCollins, 1993).

انظر أيضاً:

C. R. Benn, "The Moon and the Origin of Life", Earth, Moon, and Planets 85-86 (2001): 61-66.

على الكوكب المضيف وفائدة ظاهرة الكسوف للعلم؛ لنبدأ بالعامل الأول.

تتغير صلاحية الحياة بشكل سريع، بحسب أحجام الكوكب ونجمه المضيف، والمسافة الفاصلة بينهما. هناك أسباب جيّدة للاعتقاد أن نجماً كالشّمس ضروري للحياة المعقّدة[١] يتّصف النّجم ذو الحجم الضّخم بعمر أقصر وإشعاع أسرع، بينما يرسل النّجم الأقل ضخامة إشعاعاً بطاقة أقلّ؛ لذلك يجب على الكوكب أن يحافظ على مدار أقرب حتّى يبقي المياه سائلة على سطحه. (تسمّى المنطقة التي تحيط بالنّجم وحيث يحافظ كوكب أرضي على مياه سطحه السّائلة بـ«النّطاق حول النجمي الصّالح للحياة The circumstellar habitable zone). يؤدّي التّواجد بمدار قريب جدّاً للنّجم المضيف إلى الإيقاف السّريع لحركة المدّ والجزر، أو «التّزامن الدّوراني»؛ حيث يواجه جانب من الكوكب نجمه المضيف بشكل دائم. (يقع القمر بالمناسبة في تزامن مضبوط من مداره حول الأرض). يؤدّي هذا إلى تغيّرات عنيفة في درجة الحرارة بين الجانبين النّهاري واللّيلي للكوكب. حتّى وإن كانت الحدود الرّقيقة بين النّهار واللّيل ـ والتي تسمى بالفاصل ـ صالحة للحياة، فستواجه الحياةَ مجموعةٌ من المشاكل حول نجم أقلّ ضخامة. (سنتحدث أكثر عن هذا في الفصل السابع).

إذا كان قمر الكوكب أبعد بكثير عن هذا الأخير، لوجب أن يكون أكبر من القمر التابع لكوكبنا لتوليد طاقة مدّية مماثلة، ولكي يستقرّ الكوكب بشكل صحيح[٢] بما أن القمر كبير بشكل مفاجئ مقارنة مع الأرض لدرجة أنه يقل

---

(١) سنناقش هذا في الفصل السابع. انظر أيضاً:
G. Gonzalez, "Is the Sun Anomalous?" *Astronomy & Geophysics* 40, no. 5 (1999): 5.25-5.29.

(٢) اقترح بن C. R. Benn أيضاً وجود صلة بين حدوث كسوف الشمس الكلي والحياة على الأرض؛ إذ لاحظ أن قوة المد والجزر الآتية من القمر أو الشمس تعتمد على حجمها الزاوي مرفوع إلى مكعبه raised to the third power. وهكذا، فإن حركات المد والجزر التي يسببها القمر والشمس متقاربتين من حيث القوة نتيجة أحجامها الزاوية المتساوية. يجادل بِنْ أن التأثير الذي ينتج عن هذا على المد والجزر قد يلعب دوراً أساسيّاً في أصل من الحياة، ذلك أن المدة الطويلة لهذا التأثير يمكن أن تتيح التفاعلات الكيميائية البطيئة على السطح. لكن هذه الحجة تنسف حين نعتبر أن القمر كان أقرب إلى الأرض عند ظهور الحياة لأول مرة عليها. وليس من الواضح لم قد تستفيد الحياة من التشابه بين القوة المدية الشمسية والقمرية في الوقت الحاضر.

احتمال وجود قمر أكبر. يجب أن يكون القمر الأصغر أقرب إلى الكوكب، ولكنه عندئذ سيكون أقل استدارةً، ما من شأنه أن يخلق مشاكل أخرى.

أما بالنسبة للكوكب الْمُضِيفِ، يجب أن يقارب في حجمه الأرض حتى يتمكّن من الحفاظ على الصفائح التكتونية، وإبقاء بعض اليابسة فوق المحيطات، والاحتفاظ بالجو. (سنعرض معلومات أكثر في الفصل الثالث) والمحافظة على ميلان كوكبي مستقر. ويحتاج الكوكب إلى أدنى حد من الطاقة المدية من القمر. وقد يتطلب كوكب أكبر قمراً أكبر؛ لذلك وبشكل غير مباشر، يعتبر حجم الأرض مهمّاً في حدِّ ذاته لهندسة نظام الأرض والشّمس والقمر، ولمساهمته في صلاحية العيش.

وباختصار، فإن متطلبات الحياة المعقّدة على كوكب أرضي تتدخل بقوة في متطلبات مراقبة ظواهر كسوف الشّمس الكلي.

الكسوف الكامل والكسوف الفائق:

ماذا لو كان القمر أقرب إلى الأرض، كما كان في الماضي البعيد؟

قبل حوالي ٢,٥ مليار سنة، كان القمر، في المتوسط، أقرب نحو ١٣ في المائة مما هو عليه الآن[١] كان يمكن لمثل ظواهر الكسوف الشّمسي الكلي هذه، التي سنسميها بظواهر الكسوف الفائق، أن تكون عندئذٍ أكثر شيوعاً ووضوحاً على نطاق واسع من سطح الأرض، خلال الكسوف الفائق، يصبح الكروموسفير الوردي، وأجزاء من الإكليل الأوغل مرئيّاً لفترة وجيزة، فقط قبل بدء الكسوف بقليل وفي نهايته، يمكننا اليوم أن نلاحظ الكروموسفير بأكمله في عدة أنحاء من سائر مراحل الكسوف.

في ظواهر الكسوف كالظاهرة التي حدثت بتاريخ ٢٤ أكتوبر ١٩٩٥م، عندما كاد القرص الأسود للقمر أن يغطي القوص المشرق للشمس[٢]، كان

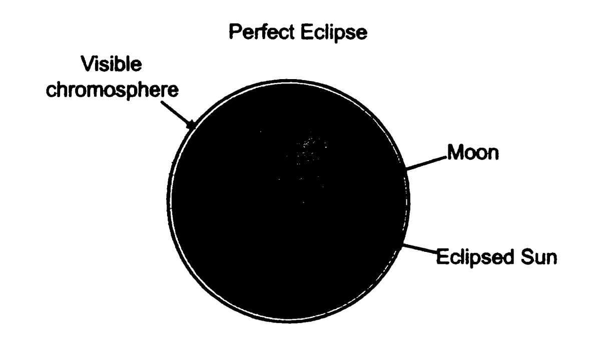
---

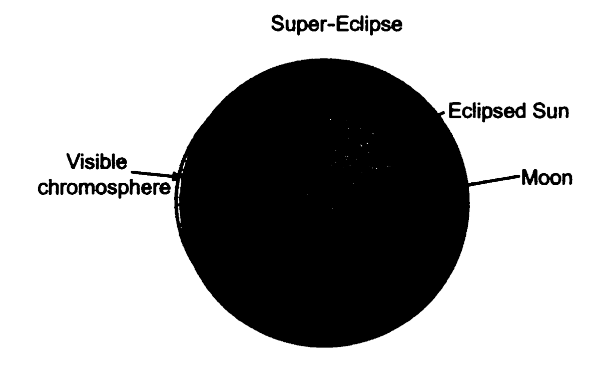
(١) J. C. G. Walker and K. J. Zahnle, "Lunar Nodal Tide and Distance to the Moon During the Precambrian," *Nature* 320 (1986): 600-602.

سنفسر كيف يعرف الفلكيون هذا في الفصل الثاني.

(٢) في هذا الكسوف، كان الحجم الظاهري للقمر أكبر بحوالي خمسة وأربعين ثانية قوسية فقط من الفوتوسفير الشمسي. ويتحقق هذا إلى ٢,٥ في المئة تقريباً من متوسط أحجامها الزاوية.

غلاف جوي الممتد للشّمس مرئيّاً تماماً لمدة دقيقة تقريباً، وسوف نشير إلى كسوف من هذا النوع بـ«الكسوف الكامل»؛ لأنه يدوم بما يكفي ليرصده المشاهد، قد يكون القمر كبيراً لحجب ضوء قرص الشمس المضيء إلا أنه ليس كبيراً بما يكفي لإخفاء الكروموسفير الملون. يترك الكسوف الكلي القصير إشراقاً في السماء، مع وقت قليل لكي تتكيف أعيننا مع الظلام، مما يجعل الإكليل الخارجي الخافت صعب الرؤية. يمكن أن يمكّن قمر ذو حجم أكبر من كسوف يستمرّ لمدة أطول لكنه يحجب جزءاً كبيراً من الكروموسفير.





● **الشكل ١,٣:** مقارنة الكسوف الكامل والكسوف الفائق. بالنسبة للاكتشاف العلمي، يعتبر الكسوف الكامل أفضل من الكسوف الفائق. في الكسوف الكامل يحجب القمر الفوتوسفير المشرق للشمس فقط، كاشفاً عن غلاف الكروموسفير الرقيق للشمس. في المقابل، يكشف الكسوف الفائق عن جزء مِنجلي الشكل من الكروموسفير فقط عند بداية ونهاية الكسوف. تمّ تمثيل سمك الكروموسفير عن مبالغة من أجل الوضوح. في الواقع، يبلغ سمكه حوالي واحد على ثلاثمائة نصف قطر الشّمس.

لو كان القمر أقل استدارة لكان بإمكاننا التمتّع بمشاهدة مزيد من ظواهر

الكسوف؛ (إذا كان المحور الأصغر لقمر مسحوق يبدو أكبر من (قطر) الشّمس)، لكن هذا الكسوف سيكون «أقل كمالاً»؛ لأن الكروموسفير سيكون محجوباً على طول المحور الأصغر خلال نصف الكسوف) يحدث أن القمر والشّمس أحد الأجسام المدروسة الأكثر استدارة في النّظام الشّمسي. مع أن الشّمس ليست بالشكل الهندسي المضبوط للكرة، لكنها أقرب لذلك من أي جسم طبيعي آخر[1] تبدو استدارة القمر مثيرة للدهشة لأنه صخري، في حين تكون الأقمار الموجودة خارج النّظام الشّمسي مزيجاً من الصخور والجليد، مما يؤدي إلى شكل مستدير، ذلك أن الجليد أقل مقاومة للضغط من الصخور، ومع أن القمر لا يحتوي على الجليد ـ افتراضاً ـ إلا أن شكله مستدير تماماً، ربما يكون هذا نتيجة طريقة تشكله الغريبة مقارنة بالأقمار الموجودة خارج النّظام الشّمسي، بعدما تشكل القمر نتيجة التصادم العملاق مع الشكل الأصلي للأرض، اندمجت المواد المقذوفة بشكل سريع بينما كان البعض منها لا يزال منصهراً جزئيّاً، ثم تراكمت بعد ذلك المواد المتبقية على سطح القمر[2]

ماذا لو كان للقمر غلاف جوي؟

تقدم ظواهر الخسوف الكلي بعض حلول هذا اللغز: يتحول القمر إلى اللون الأحمر القاتم في منتصف الخسوف الكلي؛ لأن أشعّة الشّمس تنكسر عبر الغلاف الجوي للأرض في طريقها إلى القمر. يظهر الضوء أحمر اللون لنفس الأسباب التي تظهر بها الشّمس حمراء اللون عند الشروق والغروب،

---

(١) تقدر درجة تفلطح أو تَسطُّح المظهر القمري في سماء الأرض بـ ٠,٠٦ في المائة فقط. انظر:
S. K. Runcorn and S. Hofmann, "The Shape of the Moon," in *The Moon*, S. K. Runcorn, H. C. Urey, eds. (Dordrecht-Holland: D. Reidel, 1972), 22.

ومع ذلك فإن المحور القمري المتجه نحو الأرض، أكبر بـ ٥ كلمترات تقريباً من المحورين الآخرين. لو كان القمر لا يحقق حركة متزامنة دورانيّاً، يمكن أن يؤدي القطر الاستوائي إلى مظهر قمري أقل استدارة. (يحافظ جسم كوكبي في مدار متزامن دورانيّاً على نفس الوجه المتجه نحو الجسم الذي يدور حوله؛ ومن المرجح أن القمر اتخذ هذا الوضع بعد مليون سنة من تشكله).

(٢) على الرغم من أن القمر قد ابتدأ ربما بشكل مستدير نسبيّاً، فمن المرجح أنه بلغ شكله الحالي خلال القصف الشديد المتأخر، قبل حوالي ٣,٨ مليار سنة. كانت الأجسام الصادمة الكبيرة متواترة، فضخت ما يكفي من الطاقة في القمر لإعادة تشكيله بحسب القوى المدية القوية من الأرض آنذاك. انظر:
V. N. Zharkov, "On the History of the Lunar Orbit," *Solar System Research* 34 (2000): 1-11.

سيكون المراقب من على سطح القمر مغموراً بالضوء الأحمر القاني، وسيتمكن من رؤية حلقة حمراء تطوق الأرض. لو كان القمر يتوفر على غلاف جوي أثناء الخسوف الكلي، لكان في وسعنا أن نرى حلقة مماثلة تحيط به، يمكن أن يحجب عندئذ الكروموسفير الوردي اللون وجزءاً من الإكليل إن لم نقل كله(١)

وأخيراً، ماذا لو كنا نعيش على كوكب آخر من كواكب النّظام الشّمسي؟

يبيِّن الرسم ١,٤ كم يبدو القمر كبيراً بالنسبة لمراقب من كوكبه المضيف مقارنة مع الشّمس(٢) إن الحجم الظاهر للقمر هو ما يمكن لمراقب عند خط الاستواء الأرضي أن يراقبه؛ ذلك أن الغاز يتصاعد مرتفعاً، تخيل أن المراقب يحلق فوق قمم السّحب في بالون للبحث. يوضح هذا الرسم حقيقة مذهلة: من بين أكثر من أربع وستين قمراً في نظامنا الشّمسي، يعطي قمرنا أفضل تطابق للشمس عند رؤيتها من سطح كوكب. وهذا لا يمكن تحقيقه إلا من خلال نافدة صغيرة منصفة من تاريخ الأرض، الذي يشمل الوقت الحاضر، تَكْبُرُ الشّمسُ القمرَ بحوالي أربعة آلاف مرة، ومع أنها كذلك، أكبر أربعة آلاف مرة منه إلا أنهما يظهران بنفس الحجم في سمائنا.

تلقي ما تسمى بالأقمار الغاليلية ظلالاً واسعة على قمم السّحب بكوكب المشتري، والتي تكون مألوفة للهواة الذين يقضون معظم أوقاتهم بمراقبتها. (مع أنهم

---

(١) يصادف أن القمر الوحيد في النظام الشمسي التي يتوفر على غلاف جوي هام هو تيتان (Titan). قدم فنان الفضاء الرائد تشيسلي بونستيل على لوحته منظراً للخسوف القمري الكلي كما يظهر من القمر. انظر:
C. Bonestell, *Rocket to the Moon* (Chicago: Children's Press, 1961).

(٢) لاحظ أن الشكل ١,٤ لا يشمل الأقمار الصغيرة المتعددة المكتشفة حول الكواكب الخارجية في السنوات الأخيرة. وحتى أكتوبر/ تشرين الأول ٢٠٠٣م، بلغ العدد الإجمالي للأقمار المعروفة في النظام الشمسي ١٣٦. كل هذه الأقمار الجديدة التي تنتمي إلى الفئة «الشاذة» (تتميز بمدارات انحرافية ومائلة للغاية)، صغيرة جدّاً، ولا تنتج ظواهر الكسوف الشمسي الكلي. للاطلاع على أحدث قائمة للأقمار الجديدة، انظر:
http://www.ifa.hawaii.edu/~sheppard/satellites/.
ولا يشمل الشكل كذلك ظواهر الكسوف المتبادل بين الأقمار. وهذه الأحداث أقل شيوعاً بكثير من ظواهر الكسوف بين الأقمار وكواكبها المضيفة. يمكن مراقبة ظواهر الكسوف المتبادل بين الأقمار الغاليلية، الأقمار الكبيرة الأربعة لكوكب المشتري التي رآها غاليليو لأول مرة من خلال هذا التلسكوب، بواسطة تلسكوبات الهواة.

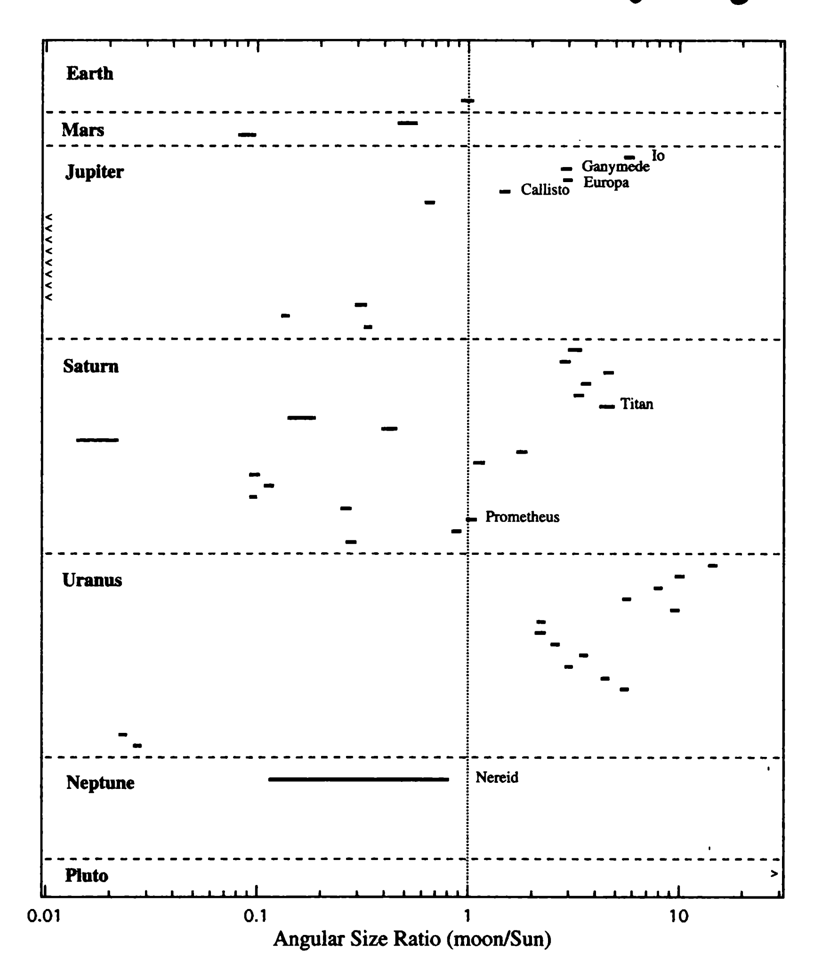
اقتربوا من مراقبة الوجه الظاهر للشمس إلا أن ظلالها لا تكون مرئية لتليسكوبات الهواة). بشكل عام، تبدو الشّمس أصغر كلما ابتعد المراقب منها وتصبح ظواهر الكسوف أكثر شيوعاً. بينما يصعب حدوثها عندما تلوح الشّمس بشكل قريب.

في الواقع، إذا كان هدفك هو مراقبة ظواهر الكسوف الكلي فقط، قد ترغب في الانتقال إلى كوكب أبعد من الشّمس، ولكن لأغراض علمية، يُعد الكسوف المشاهد من الأرض أفضل كسوف يمكن رؤيته؛ حيث كلما ابتعد الكوكب كلما قلّت مدة ظواهر الكسوف فيه، ذلك أن الشّمس تبدو أصغر على سطح هذه الكواكب، وباعتبار نفس الظروف، يمر قمر متوسط الحجم تابع لأحدها، حول قرص الشّمس بسرعة أكبر. أما إذا افترضنا أن الظروف مختلفة، فلن تزيد الأمور إلا سوءاً بالنسبة لمطارد الكسوف الخاص بنا والمتواجد خارج الكوكب. تدور الأقمار حول الكواكب الضخمة أسرع مما يدور قمرنا حول الأرض بسبب ضخامتها تلك، بالإضافة إلى أن أربعة أقمار فقط تكبر قمرنا حجماً. وكنتيجة فإن أفضل كسوف مشاهد من أبعد كوكب يدوم لبضع ثوان فقط.

من بين أربعة وستين قمراً كما هو مرسوم في الشكل ١,٤، اثنان فقط يظهران (في المتوسط) بحجم الشّمس، بالنظر من كواكبها المضيفة: القمر وبروميثوس، وهو قمر صغير يشبه في شكله البطاطس تابع لكوكب زحل. لكن بروميثوس يحدث كسوفاً يدوم أقل من ثانية واحدة عند دورانه حول زحل. فضلاً عن ذلك، يكاد شكله الممدود إلى حد كبير أن يغطي ظهور الكروموسفير. يبدو القمر النموذجي أكبر من الشّمس من خارج النّظام الشّمسي كما يوضح الشكل. يقارب متوسط النسبة الواحد في زحل؛ إذ ليس من المستغرب جدّاً أن قمراً تابعاً لكوكب زحل يطابق حجمه الشّمس من بين الكواكب الأخرى. ولكن هل يمكن القول: إن تطابق القمر والشّمس يمكن أن يكون نتيجة صدفة؟ لكن القمر يتجاوز هذا الاحتمال. نعتقد أن الأمر يتطلب تفسيراً.

في الواقع، مقارنة مع أقمار أخرى في النّظام الشّمسي، يعطينا القمر ظواهر كسوف «أكثر كمالاً» مما نَصِفُ؛ لأن الشّمس تبدو أكبر من الأرض أكثر من أي كوكب آخر يتوفر على قمر. لذلك يمكن للمراقب على سطح الأرض أن يبصر أدق تفاصيل الإكليل والكروموسفير الشّمسي أفضل من أي كوكب آخر.

الكشف عن الكسوف:



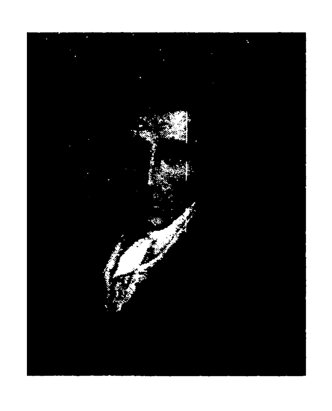
● الشكل ١،٤: مقارنة بين النسب المتوسطة للأحجام الزاوية، لأربعة وستين قمراً والشّمس من على سطح الكواكب المضيفة (مع عدم احتساب الأقمار التي تمّ اكتشافها أخيراً حول الكواكب الضخمة). تمّ تمثيل النسب وفق قياس لوغاريتمي على المحور الأفقي، وبالتالي فإن علامات التجزئة الرئيسية تمثل مضاعفات للعدد ١٠. إذا كان القمر يتخذ شكلاً إهليلجيّاً، فإن شعاعه الأصغر يستعمل في حساب حجمه التقريبي. أما إذا كان للقمر نسبة تساوي واحداً، فهو على تطابق مضبوط مع الشّمس بالنظر من سطح كوكبه المضيف. هناك تطابقان فقط في نظامنا الشّمسي: القمر الأرضي وبروميثوس. مع ذلك وعلى خلاف قمرنا، فإن بروميثوس يحدث ظواهر كسوف تدوم لأقل من ثانية. لاحظ أن مجموعة من نسب الأحجام الزاوية للأقمار قد مثلت بخط بدل نقطة، ذلك أن مداراتها ليست دائرية تماماً. ونتيجة لذلك، فإن الأحجام الزاوية للشمس والقمر تختلف بحسب سطح الكواكب المعنية. يدور «نيريد»، وهو أحد أقمار نبتون، وفق مدار غير محدد يشير الرمز «op» إلى أن الأقمار صغيرة جدّاً لتظهر على الرسم البياني. في حين يشير الرمز «cl» إلى العكس.

إلى جانب جمالها الأخّاذ، تلعب ظواهر الكسوف الكلي دوراً هامّاً في الاكتشاف العلمي، خصوصاً في مساعدتها على كشف طبيعة النجوم، فقد كانت بمثابة تجربة طبيعية لاختبار نظرية النسبية العامة لـ**آينشتاين**، وتمكّنا بفضلها من قياس تباطؤ دوران الأرض.

الأطياف والغلاف جوي الشّمسي:

يظهر الإكليل الشّمسي الكامل للمراقبين من على سطح الأرض فقط خلال الكسوف الكلي[١]؛ إذ يُعد من بين الأسباب الرئيسية التي تجعل الناس تنجذب لمشاهدة ظواهر الكسوف الكلي، لا يظهر الإكليل أبداً بنفس الشكل مرتين؛ ما زال علماء الفلك حتى اليوم يقومون بتجارب على الكسوف الكلي لكي يتبينوا كيف يمكن أن ترتفع درجة حرارة الإكليل إلى ملايين الدرجات.

والأهم من ذلك، هو المساعدة التي قدّمتها ظواهر الكسوف الكامل لعلماء التحليل الطيفي القدماء لتفسير أطياف النجوم. يستخدم علماء الفلك أداة تسمى بالسبيكتروسكوب (منظار التحليل الطيفي أو المطياف) تمكّن من فصل الضوء إلى الألوان المكونة له. تتوافق الألوان المختلفة للطيف الضوئي مع طول موجات مختلفة للإشعاع الكهرومغناطيسي. الألوان الأصلية المكونة للطيف المرئي هي نفس ألوان أشرطة قوس قزح: الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي والبنفسجي. يزداد طول الموجة كلما مررنا من الأزرق إلى الأحمر الذي



شكل ١,٥: في ١٨١١ وصف جوزيف فون فراونهوفر (١٧٨٧ ـ ١٨٢٦) الفجوات المظلمة المتقاطعة مع الطيف الشمسي

(١) في الثلاثينات، اخترع الفرنسي برنار ليو (Bernard Lyot) الكوروناغراف (جهاز مراقبة طفاوة الشمس) واستعمله لدراسة إكليل الشمس الداخلي المشرق دون الاستعانة بكسوف الشمس الكلي. لم يكن هذا إنجازاً سهلاً. فقد تتطلب موقعاً خاصّاً (قام ليو بملاحظاته من مرصد بيك دو ميدي في فرنسا) وصمم بعناية البصريات. حتى اليوم، لا تستطيع أفضل الكوروناغرافات على قمم الجبال العالية أن تكشف عن التفاصيل في الإكليل بقدر ما يكشفه كسوف الشمس الكلي.

يوجد بنهاية الطيف. (في الواقع يشكل الضوء المرئي جزءاً ضئيلاً من الطيف الكهرومغناطيسي، والذي يمتد بدءاً من موجات الراديو الموجودة بأحد أطراف الطيف، إلى الأشعة السينية وأشعة غاما الموجودة على الطرف الآخر منه. ومع أن العلماء قبل **نيوتن** بفترة قليلة (سنة ١٦٦٦م) قد علموا أن أشعة الشّمس تنشطر إلى جميع ألوان الطيف عند مرورها بالموشور، فقد كان **جوزيف فون فراونهوفر** هو أول من وصف الثغور المظلمة التي كانت تقاطع الاتصال الانسيابي للطيف الشّمسي، ولم يكن ذلك حتى سنة ١٨١١م، فأصبحت تلقب بـ**خطوط فراونهوفر**.

على مدى العقود الآتية، كشفت التجارب المعملية أن الضوء ينبعث من الذرات والجزيئات وتمتصه في نقط مميزة من الطيف، تدعى خطوط الانبعاث والامتصاص. عندما يتمّ تسخين غاز إلى درجة حرارة معينة، ينبعث منه ضوء مميز يتعلق بتركيبه، يقوم مثل هذا الغاز عندما يتمّ تعريضه للضوء من الخلف، مشكِّلاً خطوط الامتصاص في الطيف كأنها شفرة أشرطة عمودية تمّ إسقاطها على قوس قزح. كل عنصر يطبع بصمته الخاصة على الطيف، ونتيجة هذه التجارب المعملية، تمكّن علماء الفلك من تحديد العديد من خطوط فراونهوفر في الطيف الشّمسي وبعض خطوط الانبعاث الصادرة من عناصر خاصة. ولكنهم لم يتمكّنوا أن يعرفوا أين تكونت خطوط فراونهوفر الشّمسية أو أن يفهموا خصائص الغاز الممتص للضوء حتى حدوث ظاهرتي كسوف جديرة بالذكر في النصف الأخير من القرن التاسع عشر.

أثناء كسوف ١٨ غشت/ آب ١٨٦٨م، قام عالم الفلك الفرنسي **بيير جول سيزار يانسن** بتصويب مطيافه على نتوءات شمسية ـ عبارة عن سحب غازية ساطعة تندفعُ من الفوتوسفير إلى الإكليل ـ وكشف عن مجموعة من خطوط الانبعاث المضيئة خلال بضع دقائق من فترة الكسوف. تمّ التعرف على معظمها بسهولة على أنها هيدروجين عن طريق مقارنتها بالتجارب المعملية[(١)]

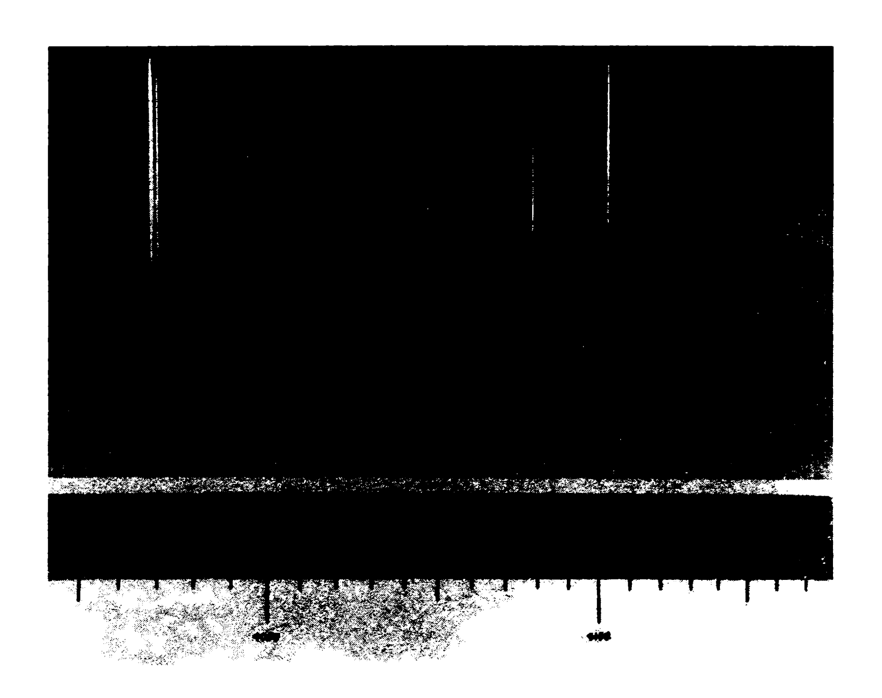
(١) مكّن رصد الكسوف من تحديد الهيدروجين كمكون رئيسي للنتوءات. وفي العشرينات، أثبتت سيسيليا باين ـ جيبوشكين لأول مرة إثباتاً كمياً أن الهيدروجين هو المكون الرئيسي للشمس والنجوم الأخرى.

ودفع الضوء الصادر من خطوط الانبعاث ليانسن إلى البحث عن نتوءات أخرى في اليوم التالي، حيث؛ لم يكن هناك كسوف ونجح، ثم اخترع قريباً بعد ذلك المطياف الشّمسي (spectroheliscope) الذي ينتج صورة للشمس بضوء واحد من الخط الطيفي؛ مما أجاز لعلماء الفلك دراسة حركة الغاز في الغلاف جوي الشّمسي بقدر كبير من التفصيل. أظهرت الملاحظات التي جرت على النتوءات والكروموسفير في مقابل خلفية الفضاء المظلم أثناء حدوث كسوف أنها مكونة من غاز ذو درجة حرارة مرتفعة وكثافة منخفضة. مثل أنابيب زجاجية كالموجودة بالمختبرات، والممتلئة بالغاز يمر بداخلها تيار كهربائي. في الواقع، يشبه لون النتوءات والكروموسفير لون الأنابيب حينما تكون ممتلئة بغاز الهيدروجين (انظر: الشكل ٤).

وقد ساعدت هذه الاكتشافات في إثبات صدق حدس الكاهن اليسوعي **أنجلو سيكي** وجون **هيرشيل في** عام ١٨٦٤م **التي** افترضت أن الشّمس كرة من الغاز الساخن. واليوم، يبدو هذا واضحاً، ولكن الأمر لم يكن كذلك بالنسبة لأوائل علماء الفلك في القرن التاسع عشر. كان **جورج إيري** أول فلكي يصف ما نعرفه الآن باسم الكروموسفير، وخلال ٢٨ يوليو/ تموز ١٨٥١م، تمّ تصوير أول كسوف شمسي، أطلق عليه اسم سييرا، متصوراً عن خطأ أن الكروموسفير مجموعة من الجبال على سطح الشّمس.

قام عالم الفلك الإنجليزي **جوزيف نورمان لوكير** بتسجيل أطياف النتوءات بشكلٍ مستقلٍّ دون حاجته إلى كسوف يوجهه ويلهمه، بالرغم أنه كان بلا شكٍّ على وعي بنتائج ظواهر الكسوف الناجحة. اكتشف كلٌّ من **يانسن ولوكير** خط الانبعاثات المشرق في الجزء الأصفر من خط الانبعاثات الموجود في الطيف الشّمسي. وكشفه لوكير بواسطة عنصر جديد سماه بالهيليوم، تبعاً للكلمة اليونانية للشمس «هيليوس Helios». (لم يكن الهيليوم معزولاً في المختبر حتى عام ١٨٩٥م) ليس للهيليوم أي ميزات طيفية في ما يخص الامتصاص الطيفي للشمس، لذلك كان من الممكن أن يتأخر علماء الفلك باكتشافه وتركيز انتباههم فقط على خط طيف الامتصاص الخاص به.

نعلم اليوم أن الهيليوم يشكل نحو ٢٨ في المائة من كتلة الشّمس؛ أي: إنه ثاني أكثر العناصر وفرة في الكون. ومن غير المحتمل جدّاً أن أيّاً من **يانسن** أو **لوكير** كانا ليفكرا في الحصول على أطياف للنتوءات لو أن مراقبي ظواهر الكسوف الشّمسي التي خلت لم يصفوا أيّاً منها.



● **الشكل ١,٦:** المنطقة فوق البنفسجية من الطيف الشّمسي التي حصل عليها كامبل خلال الكسوف الكلي من ٣٠ أغسطس ١٩٠٥م. استخدم كامبل طريقة «**الصفيحة المتحركة**» الذكية لتسجيل تغير الطيف الشّمسي عند حجب طرف القمر الجزء الأخير من الفوتوسفير الشّمسي. يمتد الطول الموجي أفقيّاً والزمن عموديّاً على الصورة. لاحظ كيف يتغير الطيف من الامتصاص إلى الانبعاث. تمّ تمثيل الطيف الضوئي للشمس على أسفل اللوحة للمقارنة.

أثناء الكسوف الكلي لتاريخ ٢٢ ديسمبر ١٨٧٠م، لاحظ عالم الفلك الأمريكي والمُبشّر لمرة واحدة **تشارلز يونغ** تغير الطيف الشّمسي من خطوط حادة موزعة على اتصال ضوئي إلى خطوط الانبعاث في بداية لحظة التطابق، وبعبارة **يونغ** الخاصة:

عندما يتقدّم القمر؛ إذ يصبح الشّكل المنجلي الظّاهر من الشّمس، تبقى الخطوط المظلمة من الطّيف بدون تغيّر على طول حركة القمر، رغم أنّها تصبح أشدّ قتامة إلى حدٍّ ما. يبدأ بعضها بالتّلاشي فيما يتحوّل البعض الآخر

إلى الأصفر الضّوئي الشّاحب قبل بدء التطابق، عندما يتمّ حجب الشّمس، على طول الطّيف - في الأحمر والأخضر والبنفسجي - تبدأ مئات وآلاف الخطوط اللّامعة بالاختفاء بشكل مذهل، ثم ينتهي كلّ شيء في ثانيتين أو ثلاث ثوان. تبدو طبقة الشّمس وكأنّها تبعد بألف ميل فقط، فتحجبها حركة القمر بسرعة كبيرة[(١)]

ومن هنا، أصبح يطلق على هذه المنطقة الرقيقة بالطبقة العاكسة، والتي نعرفها اليوم على أنها جزء من الكروموسفير. أظهرت ملاحظات **يونغ** موقع وحالة الغاز المحدث لخطوط الامتصاص خارج الطيف الشّمسي للكسوف[(٢)] عند تطبيق قوانين **غوستاف كيرشوف** للتحليل الطيفي (انظر: اللوحة ٥)[(٣)]، أدرك **يونغ** أن الطبقة العاكسة تتكون من غاز بارد أكثر من الفوتوسفير التحتي. يبدو الفوتوسفير المشرق محجوباً فقط أثناء الكسوف الكلي عندما ينزاح القمر ليغطيه أكثر فأكثر، وكانت تجربة **يونغ** لتكون ممكنة فقط على قطعة صغيرة من طرف الشّمس (الجزء الظاهر من الفوتوسفير).

منذ ملاحظات **يونغ** التاريخية للكسوف ١٨٧٠م، تمّ التمّكن من تصوير الكروموسفير عدة مرات.

في الأساس، يتصرف القمر بمثابة شق عملاق، يسمح لشريحة رقيقة من الضوء من الكروموسفير لتصل إلى المشاهد خلال الثواني الأولى والأخيرة من

---

(١) وهو ما أشار إليه:

J. B. Zirker, *Total Eclipses of the Sun* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1995), 18.

(٢) لفهم ما يجري هنا، تخيل الكروموسفير الشمسي كقشرة رقيقة جدّاً تغلف سطح الشمس بأكمله. لإنتاج طيف خطوط الامتصاص، يجب أن يمر الطيف المتصل الصادر من الفوتوسفير التحتي عبر هذه القشرة. لكن بما أن توهج الكروموسفير ضعيف جدّاً مقارنة بالفوتوسفير، لا يمكننا ملاحظة الكروموسفير مباشرة في الضوء الأبيض. فالفوتوسفير المشرق لا يحجب كليّاً إلا خلال الكسوف الكلي بحيث يصبح المقطع العرضي من القشرة الرقيقة الباهتة مرئيّاً على خلفية مظلمة.

(٣) وضع غوستاف كيرشوف ثلاثة قوانين في التحليل الطيفي بناءً على التجارب التي تم إجراؤها في مختبره، تفسر معاً الأنواع الأساسية الثلاثة للأطياف التي ترى في الطبيعة: المتصل، الانبعاث، والامتصاص.

الكسوف. لو كان هناك قوس قزح أثناء الكسوف الكلي، وأمكن للواحد منا أن يتوفر على معدات دقيقة لتصوير فيديو، لأمكننا أن نراه يتغير من طيف متصل إلى خط الامتصاص الطيفي خلال ثوان[1] في الواقع، تشكل الأرض والقمر والشّمس المكونات الأساسية لمطياف (spectroscope) الضخم. كل ما يتبقى على المراقب فعله أن يحمل موشوراً أمام عينه.

من الصعب أن نبالغ في أهمية الأفكار التي توفرها ظاهرتي الكسوف سنتي ١٨٦٨ و١٨٧٠م لتطوير الفيزياء الفلكية النّجمية في وقت لاحق من القرن التاسع عشر والعشرين. فقط لأننا نفهم كيف تتكون خطوط الامتصاص في الغلاف جوي الشّمسي، يمكن أن نحلل أطياف النجوم البعيدة، وبالتالي تحديد التركيب الكيميائي لها، وكل ذلك دون مغادرة كوكبنا الصغير. تعتبر هذه المعرفة محور الفيزياء الفلكية الحديثة وعلم الكونيات.

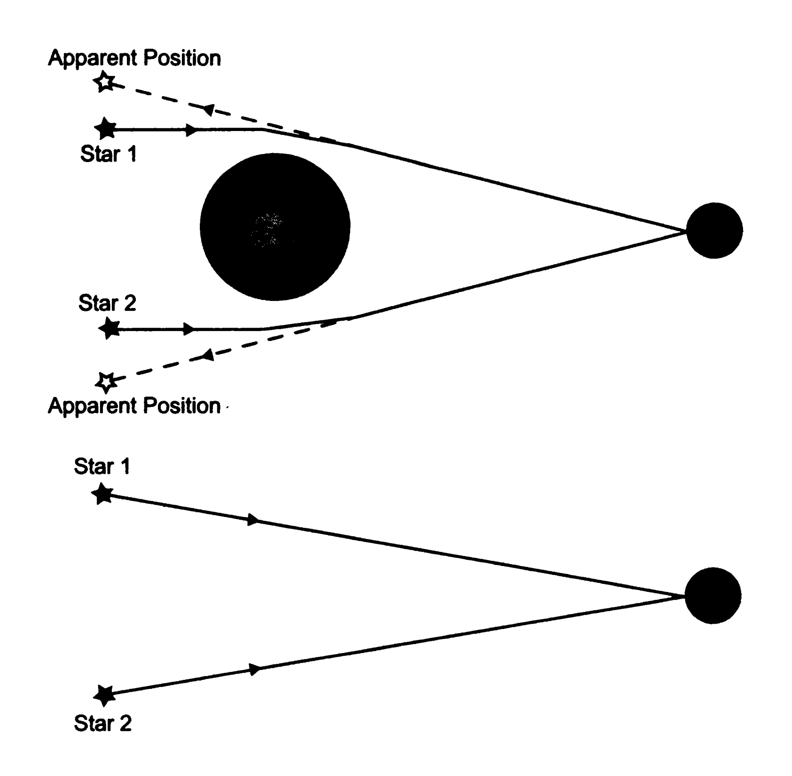
نظرية النسبية العامة لإدينجتون وآينشتاين:

كان **آرثر إدينجتون** عالم فيزياء فلكية نظرية شهيراً في مطلع القرن العشرين، لكن معظم الناس يعرفونه اليوم عن طريق ملاحظاته للكسوف الكلي التي أكدت تنبؤ النظرية النسبية العامة **لآينشتاين**، بمعنى أن الضوء ينحني تحت تأثير الجاذبية.

في يوم ٢٩ مايو، ١٩١٩م، استعمل فريقان، واحد منهما بقيادة **إدينجتون** و**إدوين كوتينغام** في الجزيرة الرئيسية بسواحل غرب أفريقيا، والآخر بقيادة **أندرو كروميلين** و**تشارلز ديفيدسون** في البرازيل؛ ظاهرة الكسوف الكلي لاختبار نظرية **آينشتاين** (١٩١٦م). كان هدفهم قياس التّغيرات في مواقع النجوم بالقرب من الشّمس مقارنة بمواقعهم قبل أو بعد بضعة أشهر. نجح كلا الفريقين في تصوير الكسوف. وأكدت نتائجهما توقعات **آينشتاين** فأكسبه ذلك قبولاً مُرَحَّباً.

---

(١) يمكن إنتاج قوس قزح اصطناعي خلال كسوف بواسطة رذاذ ضبابيٍّ من الماء أمام ثوب مظلم ويجري هذه التجربة دون الاستعانة بقوس قزح طبيعي.



● **الشكل ١,٧: وفق نظرية النسبية العامة لآينشتاين، يجب أن تتسبب الجاذبية في «انحراف» ضوء النجوم المار بقرب من الشّمس. يخلق الكسوف الكلي أفضل تجربة طبيعية لاختبار هذا التوقع. الأحجام والمسافات الفاصلة بين الأجسام ليست ممثلة بحسب السلم؛ تمّ تمثيل درجة الانحراف عن مبالغة من أجل الوضوح.**

وكرر علماء الفلك تجربة ١٩١٩م على العديد من ظواهر الكسوف منذ ذلك الحين متفقين عموماً مع توقعات **آينشتاين**، على الرغم من أن الانحرافات الأولى الملاحظة بدت كبيرة قليلاً وأحدث ذلك قلقاً ربما بسبب ظروف الطقس غير المناسبة[١] أكثر تجربة انحرافٍ للنجوم أجريت بعناية تمّ تنفيذها في ٣٠ يونيو ١٩٧٣م، كان كسوفاً كليّاً، وأكدت النتائج مرة أخرى النسبية العامة[٢]

(١) ظهرت عملية إعادة تقييم القياسات الأولى التي أجريت مؤخراً أن حالات عدم التيقن المنهجي كان مستهاناً بها على الأرجح آنذاك. انظر:

J. Earman, and C. Glymour, "Relativity and Eclipses: The British Eclipse Expeditions of 1919 and Their Predecessors," *Historical Studies in the Physical Sciences* 11 (1980): 49-85; Zirker, 170-182.

(٢) Zirker, *Total Eclipses*, 175-179.

لاحقاً وبعد ٢٨ سنة فقط، قام بعض علماء الفلك الإشعاعي باختبار توقعات **آينشتاين** بدقة أكبر تمّ إجراؤها بدون كسوف[١]، والتي أكدت بعض المميزات الخاصة بالنسبية العامة. وبالرغم من أن تجارب أكثر صرامة أجريت للتحقق من النسبية العامة لم تتطلب حدوث كسوف ذهبت أبعد من تلك التي تطلبت كسوفاً، ومع أن النتائج البريطانية عام ١٩١٩م كانت ـ نوعاً ما ـ غير دقيقة، فقد لعبت تجارب الكسوف الشّمسي دوراً حاسماً في الإسراع للأخذ بالنظرية النسبية.

تحديد المعدل السابق لدوران الأرض:

تعرف الملاحظات التاريخية لظواهر الكسوف الكلي للشمس على أفضل طريقة لقياس التّغير في فترة دوران الأرض على مدى آلاف السنين القليلة الماضية[٢] تُظْهِرُ الملاحظات الدقيقة للنجوم أن فترة دوران الأرض تعرف تباطؤا بمعدل جزأين من الألف من الثانية في اليوم لكل قرن، ويرجع ذلك أساساً إلى حركة المد والجزر على الأرض التي يسببها كل من الشّمس والقمر[٣] ومع ذلك، لم تكن مثل هذه الملاحظات الدقيقة ممكنة إلا خلال القرنين الماضيين.

بما أن الكسوف الكلي يلقي بظلاله على سطح الأرض، فإنه لا يكون مرئيّاً إلا لعدد قليل من المحظوظين أو المتحمسين خلال مساره.

تترجم التّغيرات في فترة دوران الأرض إلى أخطاء في الموضع المرتقب

---

(١) المرجع نفسه، ١٧٩ ـ ١٨٢. يمكن إجراء عمليات الرصد الراديوية في النهار؛ لذلك لا يُحتاج إلى الكسوف الكلي في هذا النوع من الاختبار. ولكن عدد الأهداف المتاحة في الراديو أقل مقارنةً بالنطاقات البصرية.

(٢) L. Morrison and R. Stephenson, "The Sands of Time and the Earth's Rotation," *Astronomy & Geophysics* 39:5 (1998): 13.

(٣) ومع ذلك فبمجرد إقصاء المكون المدّي النظري من المعدل الملاحظ للدوران السفلي خلال القرن الماضي، من الواضح أن دوران الأرض يتباطأ بمعدل غير منتظم. وبسبب هذا لا يمكننا مد معرفتنا الحالية لدوران الأرض أكثر من بضعة قرون في الماضي. حتى لو كان تقديرنا لطول اليوم بعيداً بقدر قليل، فإن هذا يؤدي إلى أخطاء كبيرة على مدى فترات طويلة من الزمن؛ لأن الأخطاء الزمنية تتراكم. تبين إضافة ثانية كبيسة (a leap second) إلى ساعاتنا الذرية مرة واحدة كل سنة ونصف معدل خطأ ساعة ثابتة في تعبيرها عن معدل دوران الأرض.

لمسار الظل. من خلال فحص بعض الظواهر السابقة للكسوف الكلي في أماكن وعند تواريخ معروفة، يمكن للفلكيين تحديد الخطأ في تنبؤ خطوط الطول وترجمته إلى خطأ في الزمن. لهذا النوع من المعلومات العديد من الاستعمالات؛ على سبيل المثال، تمكننا معرفة التّغيرات الدقيقة لفترة دوران الأرض من تنبؤ التغييرات الطفيفة التي تطرأ على شكلها على مدى قرون وآلاف السنين؛ مثل التّغيرات الناجمة عن تراجع الأنهار الجليدية في نصف الكرة الشمالي. والأهم من ذلك، أن هذه الملاحظات تسمح للمؤرخين بترجمة نظم التقويم الخاصة بالحضارات القديمة إلى نظام التقويم الحديث، والسماح لنا بترتيب الأحداث من حضارات مختلفة على جدول زمني واحد. يمكننا إذاً إنشاء أشكال الشّمس والقمر والكواكب في أي مكان وفي أي تاريخ على هذا التقويم. لا تعدُّ الأنواع الأخرى من الظواهر الفلكية كخسوف القمر وتزامن الكواكب مفيدةً بقدر ظواهر الكسوف الكلي بالنسبة للدراسات التاريخية؛ لأنها واضحة على مدى جغرافي واسع و/أو تمتد لفترة أطول.

تُعَدُّ ظواهر كسوف الشّمس الكامل الأمثل لهذه الاستعمالات الثلاثة؛ اكتشاف طبيعة الغلاف جوي الشّمسي، اختبار النسبية العامة، وتحديد فترة دوران الأرض. لو كان بإمكاننا بدلاً من ذلك أن نختبر ظواهر الكسوف الفائقة، لكان باستطاعتنا مراقبة الكروموسفير فقط على جزء صغير من طرف قرص الشمس[١] ثم لم نكن لنتمكن من قياس انحراف ضوء النجوم بالقرب من طرف قرص الشمس[٢]

وأخيراً، كان ظل الكسوف ليكون أكبر على سطح الأرض، مما يحد من فائدته في دراسة دوران الأرض.

كنا سنكون أقل حظّاً لأن قرص القمر لن يغطي وجه الشّمس المشرق،

---

(١) للاطلاع على توضيح لهذا انظر:

M. Littmann, K. Willcox, and F. Espenak, *Totality*¤ *Eclipses of the Sun* (Oxford: Oxford University Press, 1999), 130-131.

(٢) وهذا قد يصبح مهمّاً إذا كان الحجم الظاهري للقمر ضعف قيمته الحالية على الأقل؛ لأن تجارب انحراف ضوء النجوم في القرن العشرين لم تستخدم عموماً النجوم التي يبلغ حجمها قطراً شمسيّاً من طرف قرص الشمس.

مسفراً بذلك عن الكسوف الحلقي فقط. الفرق بين الكسوف الحلقي والكسوف الكلي ليس مسألة درجات فقط. بالنسبة لمراقب عابر، لا يكاد يختلف الكسوف الحلقي عن الكسوف الجزئي. بما أن الكروموسفير طبقة رقيقة، لم نكن لنعرف سوى القليل عن الغلاف جوي النجمي ذلك أن القمر الظاهر كان سيبدو أقل حجماً.

إن الجمال المذهل لظواهر الكسوف الكلي قد حفز بلا شك علماء الفلك خلال القرنين الماضيين للسفر لمسافات طويلة لمراقبتها. قد يبدو هذا تافهاً، لكن يبدو واضحاً من خلال يومياتهم وتدويناتهم أن تجربة مراقبة الكسوف كانت جزءاً هامّاً من اهتمامهم. كان عدد من الاكتشافات المهمة بخصوص الشّمس غير مخطط لها، إن لم يثر جمال ظواهر الكسوف الكلي اهتمام علماء الفلك للكشف عن مسارات الظل المحصور، لتمّ تأجيل بعض الاكتشافات، وربما إلى أجل غير مسمى.

اليوم، يمكن للمراصد في الفضاء أن تصوّر إكليل الشّمس الخارجي، ويمكن للكوروناغرافات والتّلسكوبات الموضوعة على قمم الجبال أن تصوّر الإكليل الداخلي، لكن الأقراص المستترة في الكوروناغرافات الفضائية تحجب كل شيء في ظرف قطر شمسي، كما أن الدقة على المستوى الفضائي أقل من دقة الملاحظات الأرضية لظواهر الكسوف الكلي للشمس[١] وبما أن ظواهر الكسوف الكلي هي فقط التي تسمح بتصوير الإكليل كله، فإنها لا تزال توفر معلومات مفيدة وغير مكلفة حول الإكليل.

والأكثر من هذا أن هناك تطوراً نهائيّاً غريباً. يتراجع القمر تدريجيّاً من الأرض ـ بفعل الحركات المدية التي يحدثها ـ بمقدار ٣,٨٢ سم سنويّاً[٢] وسيبدو القمر أصغر بشكل ملحوظ بعد عشرة ملايين من السنوات، في الوقت

(١) لمراجعة ما يمكن وما لا يمكن القيام به من الفضاء بخصوص دراسة إكليل الشمس، انظر:
J. M. Pasachoff, "Solar-Eclipse Science: Still Going Strong," *Sky & Telescope* 101, no. 2 (2001): 40-47.

(٢) J. O. Dickey et al., "Lunar Laser Ranging: A Continuing Legacy of the Apollo Program," *Science* 265 (1994): 482-490.

نفسه، سيتضخم المقاس الظاهري للشّمس بمقدار ستة سنتيمترات سنوياً لفترة طويلة من الزمن، وهذا شيء طبيعي بالنسبة للتطور النجمي. هاتان العمليتان، بحدوثهما معاً، يجب أن تنهيا ظواهر الكسوف الكلي للشمس في حوالي ٢٥٠ مليون سنة، والتي تكون خمسة في المائة من عمر الأرض. هذه نافذة صغيرة نسبيّاً من فرصة، والتي تحدث لتصادف وجود حياة ذكية(١) بعبارة أخرى، يحدث بالمكان الأكثر سكناً في النّظام الشّمسي أفضل مشهد لظواهر كسوف الشّمس؛ أي: فقط حيث يمكن للمراقبين تقدير هذا التوافق(٢)

من كسوف إلى تبصّر:

قد تكون ظواهر الكسوف الكامل المثال الأكثر وضوحاً من الناحية الجمالية للعلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية الملاحظة، ولكن العلاقة في هذه الحالة أكثر شمولاً؛ لأنها تنطبق أيضاً على قابلية القياس والاكتشاف، وكلاهما يختلفان بدقة طفيفة عن قابلية الملاحظة. تعتبر الأرض مكاناً مثاليّاً لمراقبة ظواهر الكسوف الكامل؛ زيادةً على ذلك، فهي الأمثل لقياس مجموعة من الظواهر الهامة؛ الطيف الشّمسي، انحراف النجوم، ودوران الأرض. والأكثر من ذلك، أنها توفر فرصة عظيمة للاكتشافات حول الشّمس.

---

(١) من المرجح أن العمر المستقبلي للغلاف الحيوي من أجل الحياة المعقدة لا يتجاوز ٥٠٠ مليون سنة. انظر:

S. Franck et al., "Reduction of Biosphere Life Span as a Consequence of Geodynamics," *Tellus* 52B (2000): 94-107.

(٢) كان اكتشافي (غ. غ.) لارتباط قابلية رصد ظواهر الكسوف الشمسي الكلي بصلاحية الحياة استنتاجاً مدهشاً إلى حدٍّ ما، وأثار نشرها: ["Wonderful Eclipses," *Astronomy & Geophysics* 40, no. 3 (1999): 3.18-3.20] بعض الاهتمام ـ بما في ذلك مقالات في العديد من الصحف:

["Eclipse shows signs of Life," *The Daily Telegraph* (June 23, 1999): 16; "Right Distance for a 'Perfect' Total Eclipse," *The Irish Times* (July 12, 1999): 12; "In the Shadow of Brilliance," *Chicago Sun-Times* (June 27, 1999): 32; "Leben wir unter einem einzigartigen Stern?" *Spectrum* (July 17, 1999): 8].

ومقابلة إذاعية على البي. بي. سي. بثت بتاريخ ١١ غشت/أغسطس ١٩٩٩م (وهو يوم الكسوف الشمسي الكلي الأوروبي)، وتمت الإشارة إليه في قسم «السُّنَّة في العلم الغريب» من مجلة ديسكفر، عدد يناير/كانون الثاني ٢٠٠٠م. وهذا الأخير هو الأكثر وضوحاً ـ يشير لقب «الغريب» إلى أن نتيجة دراستي كانت تناقض توقعات موظفي التحرير لديسكفر.

وأخيراً، إلى جانب الإلهام والذهول، تسمح لنا باكتشاف طبيعة الغلاف الجوي للشمس وعنصر الهيليوم ـ بشكل غير متوقع ـ أصبح الكسوف الكامل فرصة لاكتشاف العلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية الملاحظة، وتلك نقطة لا يستهان بها.

ظواهر الكسوف ليست سوى غيض من فيض. فالكون مليء بالدلائل المماثلة. دعونا ننظر في هذا الدليل: إننا نشق طريقنا للخروج من المجالات ذات مركز متحدد، بدءاً من أصغر نطاق (سطح الأرض)، ثم ننتقل إلى السماء والكواكب والفضاءات المرصعة بالنجوم حتى ننتهي إلى الكون نفسه.

الفصل الثاني

في المنزل، على جهاز تسجيل البيانات

«سَلِ الوُحُوشَ ستُعَلِّمَك؛
وطُيُورَ السَّمَاءِ ستُخْبِرَك.
أو حدِّث الأَرْضَ ستُرْشِدَك؛
أو سَمَكَ البَحْرِ سَيَرْوِي لَك».

ـ سِفْرُ أيُّوب، أصحاح ١٢ الآيتان ٧ ـ ٨[١]

الإيقاعات:

في دفء صيف عام ١٩٧٥م، كان ذكر من فُقَم الفِراء يتمايل ماشياً عبر صخور جزيرة سيجني شديدة الانحدار، على ساحل القارة القطبية الجنوبية. كان قد سبح في المياه وزحف عبر الجليد من الخليج الصغير الدامس البارد والمالح؛ حيث يلتقي المحيط بالجزيرة الصغيرة. بعد تخطي الصخور، وجد ما كان يأمل في العثور عليه ـ بحيرة من المياه العذبة.

على الرغم من أن بحيرة سومبري كانت لا تزال في الغالب متجمدة، فقد أذاب ضوء الشّمس المستمر ما يكفي من قشرتها الجليدية لمنحه كل المياه التي يمكن أن يرغب في شربها في جلسة واحدة. بعد بضع دقائق في الجليد المنعش شبه المتجمد، توجه للعودة إلى الخليج الصغير، ثم إلى حيث تتوالد عشرات فقم الفراء، تاركاً ـ دون أن يدري ـ أثر زيارته هذه: بضع شَعَرات سوداء كثيفة.

---

(١) New American Standard Bible.

في عام ١٩٩٢م، قام **دومينيك هودجسون** (Dominic Hodgson) وأعضاء آخرين من الدراسة البريطانية للقطب الجنوبي بغمر أدوات استخراج الرواسب في بحيرة سومبري، واستخراج العينات من الأسفل المظلم البارد. تكشف التّغيرات في شعرات الفقم على مستوى طبقات الرواسب المستخرجة عن تفاصيل مذهلة. تمكن الباحثون من تبين تجمعات فقم الفراء السنوية مباشرة إلى حدٍّ ما، ولكن مع تحليل دقيق، أعطت عينات الشعر أدلة تفصيلية حول آثار صيد الفقمات والحيتان على مختلف الحيوانات والنباتات القطبية خلال المائتي سنة الماضية[١] قام فريق **هودجسون** باختراق شريحة صغيرة من المعلومات المخزنة على كوكبنا نتيجة العمليات الرسوبية العادية. تبدو براعتهم في فك رموز هذه المعلومات واضحة. ومع أن الشروط النادرة التي تحافظ عليها أقل وضوحاً إلا أنها على نفس القدر من الأهمية. ذلك أن عملية الترسب هذه هي مجرد واحدة من عشرات أجهزة التسجيل الطبيعية التي تحافظ على معلومات مفصلة عن الماضي.

مسجلات بيانات الطبيعة:

تعلَّمنا جميعاً كأطفال أنه بإمكاننا تقدير عمر شجرة بِعدِّنا للحلقات المتراصة في مقطع عرضي لجذعها. لكن العلماء يستطيعون أن يعرفوا أكثر من العمر من هذه الحلقات؛ على سبيل المثال، تكشف مقارنة سمكها عن تغيرات درجات الحرارة وهطول الأمطار في محيط الشجرة أثناء مدة عيشها.

تشبه حلقات الأشجار، وكذا العديد من الطبقات الجيولوجية وعمليات النمو البيولوجية، أجهزةَ تسجيل البيانات التي يستعملها العلماء. جميعنا على دراية بجهاز كهذا، على الأقل من خلال المسلسلات التلفزيونية: جهاز كشف الكذب المخيف بأسلاكه الدقيقة والطويلة التي تخط بسرعة على لُفافة من

---

(١) D. A. Hodgson, N. M. Johnston, A. P. Caulkett, and V. J. Jones, "Paleolimnology of Antarctic Fur Seal *Arctocephalus gazella* Populations and Implications for Antarctic Management," *Biological Conservation* 83, no. 2 (1998): 145-154; Dominic A. Hodgson and Nadine M. Johnston, "Inferring Seal Populations from Lake Sediments," *Nature* 387 (May 1, 1997): 30-31.

ورق. يقع في قلب جهاز كشف الكذب مُسجّل شرائح التخطيط، وهي الأجزاء الأساسية المماثلة بين العديد من المسجلات الطبيعية[١] لنعتبر طبقات رواسب الثلج/الجليد القطبية الطباقية. إذا كان الجليد كورقة، فإن طبقات الجليد اليومية والسنوية تصبح بمثابة الأقلام التي تميز الفترات الزمنية، وأي مواد أخرى في الجليد تكون حساسة للتغيرات البيئية هي بمثابة الأقلام الأخرى التي تسجل الإشارات من محولات الطاقة، وتحول البيانات البيئية إلى إشارات كهربائية.

يجب ـ طبعاً ـ أن تكون لُفافة الورق محميّة ضدّ التّلف كي تكون مفيدة. فضلاً عن هذا، يجب إضافة معلومات جديدة دون التّشويش على البيانات المسجّلة سابقاً. إذا تعطّل المحرّك على مسجّل التّخطيط وتعذّرت الحركة على لفافة الورق، ستستمر الأقلام في الكتابة على مساحة صغيرة من الورقة، مشكّلة نطفة من حبر غير قابلة للقراءة. يمكن لرواسب الثّلج أن تتآكل بنفس الطّريقة إذا تراكمت بعدّة أمتار لبضع سنوات، وفي حدود سنة أو سنتين كحدٍّ أقصى، يبدأ التّراكم في التّآكل قبل تساقط الثّلوج في العام المقبل، وعندئذٍ لن تتمّ عملية تسجيل البيانات بشكل جيد. يحفظ المسجّل الطّبيعي التّرتيب التّسلسلي للأحداث في الوقت الذي تتزايد فيه الطّبقات، الجديدة على القديمة، متراكمة على بعضها كذكريات ليس من السّهل نسيانها.

يتطلّب تفسير تسجيل بشكل موضوعي أن يكون معايَراً بطبيعة الحال. ولمعايرة مسجّل شريطي، يجب على الباحث أن يربط علامات الحبر المسجّلة على الورق ببعض الخاصيات البيئية التي تمّ التعرف عليها بشكل مستقلٍّ؛ كدرجة الحرارة والضّغط أو الرّطوبة. هناك العديد من الطّرق لمعايرة المسجّلات الطّبيعية كذلك[٢]، كما سنوضّح. يحتوي كوكبنا على مكتبات

---

(١) بينما لا تزال مسجلات شرائح المخططات قيد الاستخدام من قبل العلماء في العديد من التخصصات، يُعد الكمبيوتر اليوم الجهاز المفضل لتسجيل البيانات. ومع ذلك؛ فالمكونات الأساسية في هذين النوعين من الأدوات لا تختلف في الأساس (وهي إشارة سيأتي الوقت المناسب لتحليلها).

(٢) يتشكل الثلج في غرينلاند والقطب الجنوبي، والترسب بقيعان البحار والبحيرات، الرواسب المدية =

واسعة بكميات هائلة من معلومات عفا عنها الزّمن نحن الآن نتعلّم كيفية قراءتها. دعونا نفتح بعض الكتب.

في التخزين البارد:

يمكن القول: إنّ أفضل مسجّلات البيانات الطّبيعية الخاصّة بالأرض هي رواسب الثّلج/الجليد في المناطق القطبية[1] يحتوي الجليد على العديد من الأشياء التي يوظّفها العلماء كـ«بدائل» - كما يدلّ اسمها - «تنوب عن» حقائق مختلفة حول ماضي الأرض. تضمّ هذه البدائل ثاني أكسيد الكربون والأوكسجين وغاز الميثان المحصور في فقاعات؛ وغبار؛ ورذاذ بحري؛ ورماد وحمض الكبريتيك النّاتج عن الانفجارات البركانية الضّخمة؛ والسُّخام النّاتج عن حرائق الغابات؛ وحبوب اللّقاح؛ والرّجوم النّيزكية الدّقيقة؛ ونسب النّظائر[2] نظائر العناصر المشتركة، مثل الهيدروجين والأوكسجين، لها نفس

= (رواسب تشكلت في مناطق المياه الضحلة؛ كالشواطئ والمسطحات المدية)، تُعد حلقات الأشجار، وطبقات نمو المرجان والرخويات كلها أمثلة على عمل الأرض الثابت والفعال بشكل مدهش كمسجل بيانات. للاطلاع على مجموعة متنوعة من السجلات الطبيعية للمناخ القديم، انظر: العدد الخاص من مجلة في علم المناخ القديم *Science on paleoclimatology* ٢٧ (أبريل، ٢٠٠١م).

(١) كتب الباحثان كورت كوفي (Cuffey Kurt) وإدوارد بروك (Edward Brook) في المناخ القديم من عينة الجليد «إن المكافأة عن هذا الجهد هو توسع مذهل في معرفتنا عن ماضي الأوساط البيئية، المميزة من حيث آثارها ودقة تفاصيلها» وهو اقتباس افتتاحي لفصل من مقالهم بعنوان «الصفائح الجليدية كأرشيف للمناخ القديم» «Ice Sheets as Paleoclimate Archives». [«الصفائح الجليدية وسجلات عينات الجليد الجوفية لتغير المناخ»، النظام العلمي للأرض: من الدورات الكيميابيولوجية إلى تغير المناخ العالمي، ["Ice Sheets and the Ice-Core Record of Climate Change", *Earth System Science: From Biogeochemical Cycles to Global Change*, M. C. Jacobson, R. J. Charlson, H. Rodhe, and G. H. Orians, eds. (San Diego: Academic Press, 2000), 466].

(٢) تُعد نسب النظائر من أهم الأدوات بالنسبة لعلماء المناخ القديم. يتكوّن كل عنصر كيميائي من الذرات، تضم كل ذرة على الأقل، بروتوناً موجب الشحنة في نواتها وإلكتروناً خارجها. يجب أن يكون عدد البروتونات مساوياً لعدد الإلكترونات بهدف الحفاظ على حياد الشحنة؛ يمكن لبعض الذرات أن تفقد إلكتروناً أو إلكترونين ولكن على المستوى الماكروسكوبي، يتم الحفاظ بشكل مضبوط على حياد الشحنة في معظم الأماكن في الكون.

نميز نظائر عنصر كيميائي معين عن طريق عد عدد نيوترونات الذرات المكونة لها، وبينما تحتوي جميع الذرات المنتمية لعنصر معين على نفس عدد البروتونات. إذا قام أحدهم برسم عدد من البروتونات (P) مقابل عدد النيوترونات (N) لجميع النظائر المعروفة، سيجد أن النظائر المستقرة تنجذب بالقرب =

= من خط. N = P، وكلما ابتعدنا من «مجال الاستقرار»، كلما أصبحت النظائر أقل استقراراً (وبالتالي نصف حياة أقصر).

تتوفر معظم العناصر على الأقل على نظيرين مستقرين. تعتمد جغرافية هذا المجال على قيم معينة من الثوابت والقوى الفيزيائية الأساسية: (شدة القوة النووية المسؤولة عن ربط مكونات النواة مع بعضها والقوة الكهربائية الضعيفة على وجه الخصوص)، وعلى الطريقة الخاصة التي تكونت بها. لكثير من السنوات الخمسين الماضية، تم المعنية علماء الفيزياء الفلكية مع فهم كيف يتم إنتاج هذه النظائر في المبالغ التي نلاحظها.

أفضل تفسير هو أن يتم إنتاجها في الغالب في بيئة شديدة السخونة والكثافة داخل النجوم عن طريق التفاعلات النووية. كان اهتمام علماء الفيزياء الفلكية منصباً في فهم كيفية إنتاج هذه النظائر بالقدر الذي نلاحظ على مدى الخمسين سنة الماضية. وأفضل تفسير هو أنه تم إنتاجها غالباً في جوف النجوم الساخن والكثيف عن طريق التفاعلات النووية.

تعد النظائر، سواء المستقرة أو المشعة، مفيدة جدّاً لعلماء الجيوكيمياء؛ من حيث استخدامهم للنظائر المشعة لتأريخ الأحداث على مجموعة ضخمة من النطاقات الزمنية، من دقائق إلى مليارات السنين. وبما أن النظائر المشعة موجودة في غير موضع من الجدول الدوري، فبإمكانهم تأريخ العمليات الجيولوجية الطارئة على نطاق واسع من أنواع المعادن. كما بإمكانهم تقريباً تأريخ أية عملية جيوفيزيائية منذ نشأة الكون بواسطة نوع واحد على الأقل من النظائر المشعة. تُغيِّر التفاعلات الكيميائية توزيع الذرات وكيفية تضافرها فيما بينها في حين بالكاد تؤثر على نسب تركيز النظائر المختلفة لنفس العنصر. تحدث تجزئة (أو فصل) النظائر أثناء التبخر والتكاثف بين الحالات الغازية والصلبة أو السائلة، ولأن هذه العمليات تعتمد على درجة الحرارة، فإن نسب النظائر عادة ما تحتفظ بذاكرة تاريخية لدرجة الحرارة. ومع ذلك فليست كل النظائر مؤهلة لإعادة بناء تأريخ المناخ. كلما كان الفرق في الكتلة أكبر بين زوج من نظائر عنصر معين، كلما زادت حساسيتها لعمليات التجزئة.

تتبخر جزيئات الماء التي تحتوي على نظائر الهيدروجين الخفيف من على سطح جسم مائي بسهولة أكبر من جزيئات الماء التي تحتوي على النظائر الثقيلة، كما أن درجة تجزئة النظائر تصبح أكبر بالنسبة للهيدروجين مما هي عليه لنظائر الأكسجين في جزيئات الماء. هذه الصفات المتباينة تجعل النظائر في المياه مفيدة للغاية. يمكننا أن نربط تغيرات نسب نظائر الأكسجين بتغيرات حجم الجليد العالمي.

يحتوي الماء المتبخر من المحيط على نظائر الأكسجين الخفيف أكثر مما يحتويه الماء المتبقي. بينما يجد بخار الماء طريقاً له في المناطق الأكثر برودة ثم يترسب على شكل ثلوج في المناطق القطبية، يرتفع تركيز نظير الأكسجين الخفيف في بخار الماء المتبقي في الغلاف الجوي. وبالتالي سوف تعرف رواسب الجليد في المناطق الداخلية من القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند تركيزاً أعلى من نظير الأكسجين الخفيف المتعلق بالمحيطات (ورواسب المحيطات). وكلما زاد حجم الجليد العالمي، كلما زادت نسبة نظائر الأكسجين الثقيلة إلى الخفيفة المتبقية في المحيطات.

يتأثر التكوين النظائري للماء المترسب في المناطق القطبية أيضاً بدرجة الحرارة. وبالتالي فإن نسب نظائر الأوكسيجين في الجليد توفر سجلاً مدمجاً لحجم الجليد العالمي ودرجة الحرارة المحلية. من جهة أخرى، تبين قياسات نسبة نوعين من نظائر الهيدروجين في الجليد القطبي أنه يتعلق على نحو وثيق بدرجة الحرارة. ومع ذلك فإن توفر المزيد من السجلات المدمجة ليس عديم القيمة. تاريخيّاً، =

عدد البروتونات وعدد مختلف من النيوترونات في نوى ذراتها. بالرغم أن نظائر نفس العنصر تتصرف بالطّريقة نفسها في معظم التفاعلات الكيميائية، إلا أن التّغيرات البيئية تؤثر على نسبها بشكل دقيق في الطبقات الراسبة؛ فمثلاً، في مناخ شديد الحرارة، يتبخر المزيد من الماء، تاركاً وراءه مزيداً من النظائر الثقيلة ومغيراً نسبة النظائر في الماء الباقي والماء المترسب في أماكن أخرى. إذا تمّ حفظ هذه المياه في شكل طبقات راسبة، يمكن أن تترك أدلة تخبر عن التّغيرات المناخية بما يعود إلى مئات الآلاف من السنين[١]

يسافر العلماء اليوم إلى المناطق القطبية المتجمّدة للبحث عن «الذّهب الأبيض». حيث يقومون بالحفر في أعماق الصّفائح الجليدية بواسطة معدّات تشبه منصّات التّنقيب عن النّفط، ثم يتمّ استخراج وتخزين العيّنات الجليدية بعناية لتحليلها لاحقاً.

= يتعلق حجم الجليد العالمي بدرجة الحرارة العالمية، بالمعنى الذي تتميز فيه الفترات الباردة (في الأنهار الجليدية) بقدر أكبر من حجم الجليد العالمي.

يلخص عالم الكواكب في جامعة أريزونا جوناثان لونين (Jonathan Lunine)، المتطلبات الرئيسية الأربعة كي تكون النظائر مفيدة كوسائل لعمليات إعادة بناء المناخ:

١ ـ توفر النظائر المستقرة لنفس العنصر الذي يعتمد فصله على درجة الحرارة.

٢ ـ إدراج خليط النظائر المجزأة في بعض وسائط التخزين التي يتم الحفاظ عليها لفترة طويلة.

٣ ـ القدرة على قياس دقيق لنسبة النظائر المختلفة.

٤ ـ وسيلة لتأريخ عمر بيانات النظائر المخزنة، بالمعنى المطلق أو النسبي.

من *Earth: Evolution of a Habitable World (Cambridge: Cambridge University Press, 1999), 54*. لمزيد من التدقيق، يقع هذا الاقتباس ضمن قسم من الكتاب الذي يحمل عنوان The Measurable Planet: "Tools to Discern the History of Earth and the Planets". والذي يضم بشكل مدهش مجموعة متنوعة من العمليات على الأرض والتي تفي بهذه المتطلبات الأساسية الأربعة.

(١) على وجه التحديد، يستطيع العلماء ربط كمية من الديوتيريوم (أحد نظائر الهيدروجين) في الجليد بدرجة الحرارة المحلية عندما تم ترسبه، ونسبة النظائر في الأكسجين في الفقاعات المحاصرة بحجم الجليد العالمي، وبصفة عامة، بالدورة الهيدرولوجية ـ التبخر العالمي للماء ونقله وترسبه، لحساب غير تقني، شخصي، للقياسات الميدانية والمخبرية من النوى الجليدي في غرينلاند، انظر:

R. B. Alley, The Two-Mile Time Machine (Princeton: Princeton University Press, 2000); R. B. Alley and M. L. Bender, "Greenland Ice Cores: Frozen in Time," *Scientific American* (February 1998): 80-85.

انظر: أيضاً المراجعة التي قام بها:

R. J. Delmas, "Environmental Information from Ice Cores," *Reviews of Geophysics* 30, no. 1 (1992): 1-21.

مؤخّراً، انتهى العلماء العاملين في القطب الجنوبي من استخراج وقياس عيّنات الجليد من محطة فوستوك (The Vostok station)، بعمق ٢,٢٥ ميل من الثّلج المتساقط في شرق القارّة القطبية الجنوبية التي تعود إلى حوالي ٤٢٠,٠٠٠ سنة. توفّر هذه السجّلات أكثر ممّا توفّره المعلومات المحلية مع أنّها من مكان واحد، تحتوي عيّنة الجليد على معلومات محليّة تتمثل في كمية تساقط الثّلوج ودرجة الحرارة؛ وإقليمية تتمثل في الغبار الذي تثيره الرّياح، وملح البحر، والغبار البركاني، وأنواع أخرى من الرّذاذ الجوّي؛ وعالمية تتمثل في مستويات الغلاف الجوي من غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون والحجم الإجمالي للجليد[١].

انطلاقاً من العيّنات المأخوذة من فوستوك، أدركنا أن مستويات ثاني أكسيد الكربون والميثان قد تغيّرت بفعل درجة الحرارة وحجم الجليد. وأدركنا كذلك أنّ الفترات الجليدية الباردة كانت مغبرّة وريحية. (بما أنّ مستوى البحر كان منخفضاً بما يكفي للكشف عن الرّفوف القارية خلال فترة جليدية، جرفت رياح قوية ما كان راسباً تحت المياه إلى الغلاف جوي).

ولعل الأهم من ذلك، ونحن نعلم الآن أن مناخ الأرض كان أكثر برودة وأقل استقراراً من الحاضر، مع بعض فترات الدفء القصيرة خلال معظم ٤٢٠,٠٠٠ سنة الأخيرة[٢].

حصل الباحثون أيضاً على عينات جليدية في غرينلاند، الجزيرة الحظورة والواقعة بالقرب من القطب الشمالي والتي سميت من قبل الاسكندنافيين القدماء عندما كانت لا تزال خضراء. وبما أن الثلوج تراكمت هناك بسرعة

---

(١) أثارت خاصية عينة الجليد هذه إعجاب ريتشارد آلي (Richard Alley)، أستاذ العلوم الجيولوجية في جامعة ولاية بنسلفانيا. «يضم الجليد كل هذه المعلومات معاً، موفراً على نحو غريب تاريخاً كاملاً للتغيرات المناخية في معظم سطح الأرض.

R. B. Alley and M. L. Bender, "Greenland Ice Cores: Frozen in Time," *Scientific American* (February 1998): 13.

(٢) لاحظ مقررو دراسة عينات فوستوك الجليدية «يعتبر الهولوسين حتى الآن، الذي استمر ١١ كير [ألف سنة] أطول فترة حارة مستقرة تم تسجيلها في القطب الجنوبي خلال ٤٢٠ كير الماضية».

J. R. Petit et al., "Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica," *Nature* 399 (1999): 429-436.

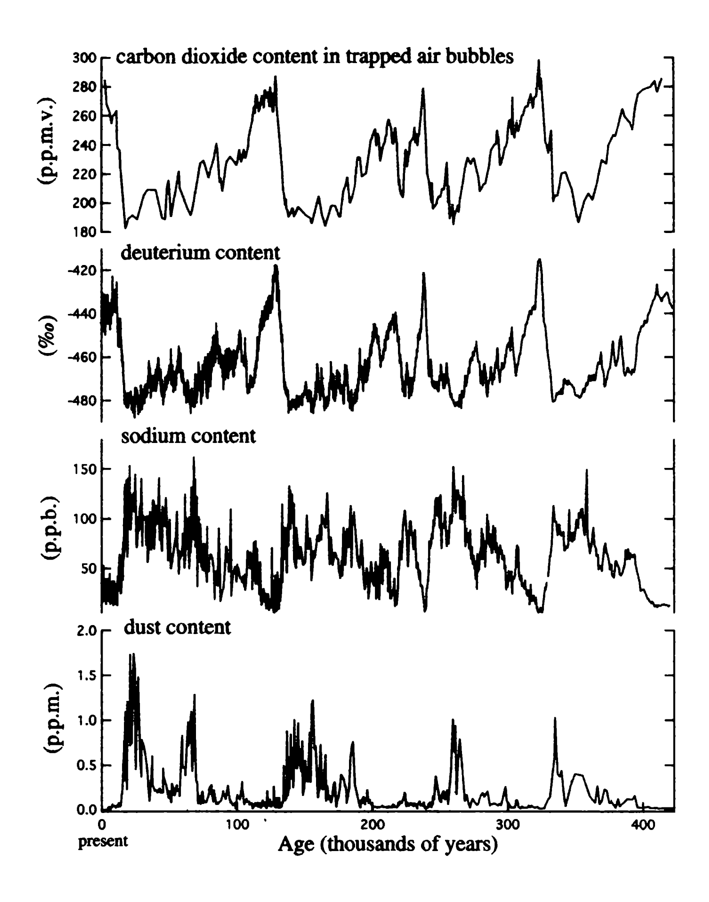
أكبر مما كانت عليه في القطب الجنوبي، فإن هذه العينات الجليدية تعود إلى حوالي ١٠٠,٠٠٠ سنة فقط. ومع أن عينات غرينلاد أقصر عمرياً في الفترة الزمنية الكلية، فهي تمتاز بـ«دقة عالية»، مما يوفر المزيد من التفاصيل بالمقارنة بعينات القطب الجنوبي، وهذا ما يسمح لنا بتعيين تواريخ دقيقة إلى حدٍّ ما لأحداث قصيرة كالانفجارات البركانية والتّغيرات المناخية المفاجئة. تظهر الانفجارات البركانية في عينات الجليد كزيادات في حموضته أو حتى كطبقات رماد. إن الانفجارات الموثقة تاريخيّاً والتي تترك علامة على مستوى الجليد ـ بالعودة إلى فيسوفيوس سنة ٧٩ بعد الميلاد ـ هي بمثابة فحوصات مستقلة لطرق تأريخ عينات الجليد. بمجرد أن يتمكن العلماء من تحديد الانفجارات المعروفة على مستوى عينة يغدو بإمكانهم توثيق انفجارات أخرى لم يتمّ تأريخها[١]

تبيِّن لنا عينات غرينلاند أن التّغيرات المناخية العالمية والمفاجئة كانت سائدة على مدى الـ ١٠٠,٠٠٠ سنة الماضية. وكان آخرها ينغر درياس (The younger Dryas)، وهي فترة جليدية دامت نحو ألف سنة، انتهت فجأة منذ حوالي اثني عشر ألف سنة. إن الاختلافات التي تميز كلّاً من المجموعتين من عينات الجليد في غرينلاند والقارة القطبية الجنوبية هو ما يجعل كلّاً منها تكمل الأخرى، ليس فقط في مدتها ودقتها بل أيضاً في مواضعها؛ إذ إنها تقع تقريباً على طرفي نقيض من كوكب الأرض. وهذا يسمح بأن تكون كل واحدة شاهدة على الأخرى مما يمكن من إعادة بناء ماضي المناخ العالمي بشكل أفضل. والأكثر من ذلك، إذا كانت إحدى العينات مؤرخة بعناية، يمكن للعلماء أن يستعملوا هذا التحديد لتأريخ عينات أخرى عن طريق مطابقة أنماط التّغير في ثاني أكسيد الكربون والميثان. وبما أن هذه الغازات ممتزجة جيداً في الغلاف الجوي؛ فإن قياس الغاز المحصور في موقع واحد بشكل فعلي يعطينا القيمة العالمية.

---

(١) على سبيل المثال، تم مؤخراً تحديد تاريخ اندلاع جبل مازاما (الذي شكَّل بحيرة كريتر) ما يعود إلى ٧٦٢٧ ± ١٥٠ سنة من طرف:

C. M. Zdanowicz, G. A. Zielinski, and M. S. Germani, "Mount Mazama Eruption: Calendrical Age Verified and Atmospheric Impact Assessed," *Geology* 27:7 (1999): 621-624.



● الشكل ١,٢: المعلومات البيئية المستمدّة من أربعة من مختلف البدائل المتنوعة التي يمكن إرجاعها لـ ٤٠٠,٠٠٠ سنة تقريباً في عينة الجليد المستخرجة من فوستوك بالقارة القطبية الجنوبية. يخبرنا الهواء المحصور في فقاعات عن تكوين الغلاف جوي، بما في ذلك محتوى ثاني أكسيد الكربون. بينما يخبرنا محتوى الديوتيريوم في الجليد عن درجة الحرارة المحلية. يشير محتوى الصوديوم إلى سرعة الرياح فوق المحيطات التي تحيط بالقارة القطبية الجنوبية. في حين يدل محتوى الغبار على الرياح العالمية وامتداد الصحاري.

حتى أنها قد كشفت عن التّغيرات في الحقل المغناطيسي للأرض. فمثلاً، سجلت عينات الجليد في حدث لاشامب ضعفاً مؤقتاً في الحقل المغناطيسي للأرض، والذي حدث قبل حوالي أربعين ألف سنة(١)

سجلت عينات الجليد كذلك، ـ كما حلقات الشجر ـ ظاهرة خارج

---

(١) Alley and Bender, "Greenland Ice Cores," 160-161.

الكرة الأرضية. عندما تضرب جزيئات الأشعة الكونية عالية الطاقة ـ معظمها بروتونات ـ الغلاف جوي العلوي، تُنتج التفاعلات النووية النظائرَ غير المستقرة: الكربون ـ ١٤، والبريليوم ـ ١٠، والكلورين ـ ٣٦. (تنظم حلقة البقعة الشّمسية معدل إنتاج هذه النظائر في الغلاف جوي من خلال تفاعل الحقل المغناطيسي الممتد للشمس والرياح الشّمسية مع الحقل المغناطيسي لكوكب الأرض والاندفاع الخلفي للأشعة الكونية المجرّية).

تظهر التقلبات في قوة دورات البقع الشّمسية والبالغة من العمر أحد عشرة سنة بوضوح مع تغير تركيز البريليوم ـ ١٠ في عينات غرينلاند(١) وكدليل آخر، فإن التغييرات طويلة المدى في إنتاج طاقة الشّمس على مر الإثنتا عشرة ألف سنة الأخيرة، تظهر أيضاً على العينات(٢)

---

(١) تم استعمال تغيرات تركيز البريليوم ـ ١٠ في الجليد والكربون ـ ١٤ في حلقات الأشجار لإعادة بناء دورة البقع الشمسية لزمن ما قبل التلسكوب. انظر:

I. G. Usoskin et al., "A Millennium Scale Sunspot Number Reconstruction: Evidence for an Unusually Active Sun Since the 1940's," *Physical Review Letters*, in press.

والمثير للاهتمام أنهم وجدوا أن النشاط الشمسي خلال السنوات الستين الماضية استثنائي مقارنة بالـ ١١٥٠ سنة الماضية.

(٢) تظهر البصمة الشمسية في تحليل الغبار من العينات الجليدية لجرينلاند:

M. Ram and M. R. Stolz, "Possible Solar Influences on the Dust Profile of the GISP2 Ice Core from Central Greenland," *Geophysical Research* Letters 28, no. 8 (1999): 1043-1046.

تم تقديم أدلة قوية على أن الشمس قد تسببت في دورة عام ١٣٠٠ التي شوهدت في العديد من البدائل، من طرف:

G. Bond et al., "Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene," *Science*294 (2001): 2130-2136.

كتبوا: «إن نظام مناخ الأرض ذو حساسية شديدة للاضطرابات الضعيفة للغاية في إنتاج الطاقة الشمسية، ليس فقط على مستوى الجداول العقدية التي تم التحقيق فيها من قبل؛ بل كذلك الجداول المئوية والألفية الموثقة هنا». كما تم الكشف عن توقيع الشمس في أنواع أخرى من البدائل التي سيتم تفصيلها لاحقاً من هذا الفصل. للحصول على مثال من البدائل التي تم الحصول عليها من صواعد الكهوف، انظر:

U. Neff et al., "Strong Coherence between Solar Variability and the Monsoons in Oman Between 9 and 6 kyr ago," *Nature* 411 (2001): 290-293.

لمزيد من البحوث حول الأدلة على وصلات مناخ الشمس والأرض، انظر:

F. M. Chambers, M. I. Ogle, and J. J. Blackford, "Palaeoenvironmental Evidence for Solar Forcing of Holocene Climate: Linkages to Solar Science," *Progress in Physical Geography* 23 (1999): 181-204; van Geel et al., "The Role of Solar Forcing upon Climate Change," *Quaternary Science Reviews* 18 (1999): 331-338; K. =

وأخيراً، هناك أدلة على مزيد من الأحداث المتباعدة جدّاً فيما بينها. ففي عام ١٩٧٩م، نشر علماء الفلك شراكة مع الباحثين في عينات الجليد دراسة مبدئية تربط بين ارتفاع نسبة النترات في عينة جليد القطب الجنوبي بالسوبرنوفا التاريخية (انفجار النجوم)[١]

في عام ٢٠٠٠م، اقترحت مجموعة أخرى من الباحثين أن بقايا السوبرنوفا ـ تمّ اكتشافها مؤخراً ـ تسببت في أكبر ارتفاع للنترات والمشار إليه في الدراسة الأصلية التي ظلت دون أن تطابق سوبرنوفا معينة[٢] يمكن لهذه الادعاءات، إذا تمّ تأكيدها بواسطة عينات جليدية إضافية أكثر عمقاً من القطب الجنوبي، أن تمكننا من توثيق جميع ظواهر السوبرنوفا التي حدثت بالقرب من الأرض على مدى المائة ألف سنة القليلة الماضية؛ إذ يستحيل أن يكون غير ذلك. لن تستفيد الفيزياء الفلكية من أفضل اختيار للعينات المأخوذة من معدل سوبرنوفا القريب فقط؛ بل قد نكون أيضاً قادرين على تبيان الآثار البيولوجية لهذه الأحداث القوية[٣]

مسجلات البيانات البيولوجية:

إننا نميل في الوهلة الأولى إلى التفكير في الكائنات الحية من حيث بقاؤها وتكاثرها، لكن العمليات البيولوجية يمكن أن توفر أيضاً بعض السجلات التاريخية الأكثر حساسية للطبيعة بشكل مباشر من خلال إنتاج طبقات النمو المفيدة لتسجيل المعلومات البيئية حسب التسلسل الزمني،

= D. Pang and K. K. Yau, "Ancient Observations Link Changes in Sun's Brightness and Earth's Climate," EOS, *Transactions, American Geophysical Union* 83 (2002): 489-490; N. Wang et al., "Evidence for Cold Events in the Early Holocene from the Guliya Ice Core," *Chinese Science Bulletin 47 (2002): 1422-1427.*

(١) R. T. Rood, C. L. Sarazin, E. J. Zeller, and B. C. Parker, "X-or? - rays from Supernovae in Glacial Ice," *Nature* 282 (1979): 701-703.

(٢) C. P. Burgess and K. Zuber, "Footprints of the Newly Discovered Vela Supernova in Antarctic Ice Cores?" *Astroparticle Physics* 14, no. 1 (2000): 1-6.

(٣) تزعم الدراسة التالية أنه تم إيجاد أدلة على وجود النظائر في الرواسب البحرية من سوبرنوفا قريبة قبل حوالي مليوني سنة:

N. Benitez, J. Maiz-Apellaniz, and M. Canelles, "Evidence for Nearby Supernova Explosions," *Physical Review Letters* 88 (2002): 081101.

أو بشكل غير مباشر بتعزيز الترسبات غير العضوية[1] يمكن للرواسب البحرية - مثلاً - أن تبقى غنية بالمعلومات في عالم لا حياة فيه، والقواقع العظمية للكائنات البحرية وحيدة الخلية كجزء لا يتجزأ من هذه الرواسب يجعلها أكثر أهمية من ذلك بكثير[2]

تُظهر العديد من الكائنات الحية الأولوية لبعض النظائر بطريقة حساسة للحرارة في كثير من الأحيان[3]؛ فمثلاً، في عام ١٩٤٦م اكتشف **هارولد أوري** (Harold Urey) أن نسب نظائر الأوكسجين في الهياكل العظمية للمُنَخْرَبات العوالقية (planktonic foraminifra) أو foram - كائنات حية مجهرية تعيش في المياه الضحلة والدافئة - حساسة لدرجة حرارة الماء. ومنذ ذلك الحين، أكد الباحثون هذا في المختبر عن طريق زراعة هذه الأنواع على درجات مختلفة من الحرارة.

اليوم، ومع هذه المعلومات، يمكن للباحثين تحويل نسب النظائر المقاسة في الرواسب البحرية إلى تغيرات في درجة الحرارة. ومع ذلك، كما أشرنا سابقاً، فإن نسبة نظائر الأوكسجين في مياه المحيطات يعتمد أيضاً على حجم الجليد العالمي. وبالتالي، سوف تعتمد النسب المقاسة في الهياكل العظمية للمنخربات العوالقية على كل من درجة حرارة الماء وحجم الجليد العالمي.

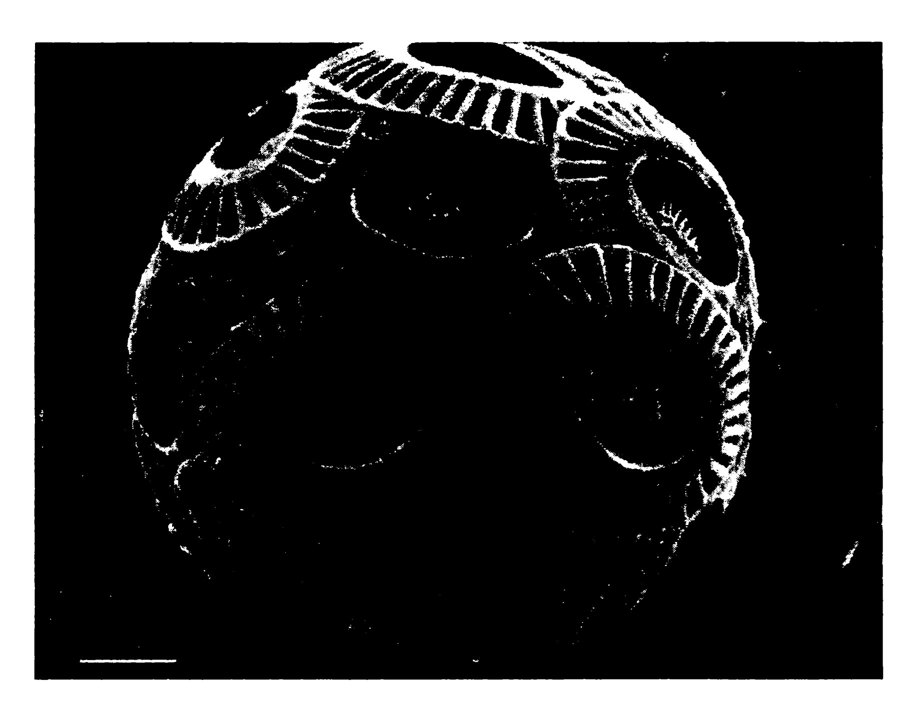
هناك طريقتان على الأقل لفصل هذين العاملين.

---

(١) انظر: R. C. L. Wilson, S. A. Drury, and J. L. Chapman, *The Great Ice Age* (Routledge: London, 2000): 163-186.

(٢) تساعدنا قواقع الرخويات الأرضية المستحاثة، أيضاً، على إعادة بناء المناخ الماضي.
O. Moine et al., "Paleoclimatic Reconstruction Using Mutual Climatic Range on Terrestrial Mollusks," *Quaternary Research* 57 (2002): 162-172.

(٣) من بين النظائر الأكثر فائدة على المستوى المتري في المحيط الحيوي هي الهيدروجين، الديوتيريوم والكربون - ١٢ والكربون - ١٣، والكربون - ١٤ والأكسجين - ١٦ والأكسجين - ١٨، والكالسيوم - ٤٠، والكالسيوم - ٤٤. الترميز الموحد لأحد النظائر هو $_{n}E$؛ حيث n هو عدد النيوترونات و E هو اسم العنصر. تميل النظائر الثقيلة الموجودة في المحيط الحيوي (نظائر الحديد مثلاً) لكونها أقل فائدة لإعادة بناء المناخات القديمة، لكن يُعتقد أن الحديد - ٦٠ يعمل لكونه المؤشر المعتاد للسوبرنوفا القريبة. توجد النظائر المفيدة بوفرة في الكائنات الحية، ويتم تبادلها عبر الغلاف الجوي و/أو المائي، تختلف هذه النظائر من حيث الكتلة إلى حد كبير، مما يجعلها أكثر حساسية من النظائر الثقيلة لمختلف عمليات المناخ. يجعل الفرق الكبير في الكتلة بين الديوتيريوم والهيدروجين نسبة الديوتريوم إلى الهيدروجين أكثر حساسية لتغيرات درجة الحرارة أكثر من أي نسبة أخرى.



● الشكل ٢,٢: إميليانية هكسلية (فئة أ) (Emiliana huxleyi type A) وهو النوع الأكثر شيوعاً من العوالق النباتية (phytoplankton). تدعى الصُّفَيْحات بالمكوّرات الحجرية (coccoliths)، وهي مكونة من كربونات الكالسيوم. تلعب هذه الكائنات الصغيرة دورين مهمين في تنظيم المناخ: أولاً، تساهم هياكلها العظمية في جزء مهم من دورة الكربون عند ترسبها بقاع المحيط. ثانياً: تساعد في تكوين السّحب البحرية عن طريق إفراز ثنائي ـ ميثيل الكبريتيد في الغلاف الجوي. يساوي شريط القياس على اليسار السفلي واحد ميكرون.

تَستخدم إحدى هذه الطرق أنواعاً أخرى من المنخربات. تعيش المنخربات القاعية (Benthonic forams) بالقرب من قاع المحيط؛ حيث تكاد تكون درجات حرارة المياه متجمدة ولا يُتوقع أن تتغير كثيراً على مدى فترات طويلة؛ ونتيجة لذلك، فإن التّغيُّرات في نسب نظائر الأوكسجين في المنخربات القاعية تخبرنا عموماً عن تغير حجم الجليد العالمي. يمكن للعلماء إذن إدراك التّغيرات في كل من درجة الحرارة وحجم الجليد العالمي عن طريق قياس الرواسب العالقة بالهياكل العظمية لكلا النوعين في المنطقة العامة نفسها(١)

(١) Wilson, Drury, and Chapman, *The Great Ice Age*, 71-77.

تعتمد طريقة أخرى على نسبة الماغنيسيوم/الكالسيوم في المُنَخْرَبات العوالقية وتعلقها الكيميائي =

تعتبر رواسب المياه العذبة مسجلات بيانات جيدة. توفر بحيرة بايكال في سيبيريا أطول سجل مستمر للرواسب داخل الجزء القاري من آسيا. يحفظ السجل عالي الدقة معلومات عن درجة الحرارة تعود لـ٨٠٠,٠٠٠ سنة على الأقل[١]! ومع أن فائدتها لا تكافئ فائدة عينات الجليد إلا أن الرواسب البحرية والبحيرية تعطينا إلى حدٍّ ما نظرة مفصلة على مزيد من المناخات القديمة[٢] تسمح لنا عمليات أخرى بتدقيق النظر أبعد من ذلك بكثير بالعودة إلى الوراء. بحيث يمكننا قياس سرعة تراجع القمر عن الأرض وذلك بتحديد توقيت انعكاس أشعة الليزر على المرآة الموضوعة على سطحه من قبل رواد أبولو[٣] قام الجيولوجيون بالتعاون مع علماء الفلك بتقدير الزمن المداري للقمر وزمن دوران الأرض قبل حوالي ٢,٥ مليار سنة[٤]

= بالحرارة. تحل عادة ذرات الماغنيسيوم محل ذرات الكالسيوم من حيث تشكيل أغلفتها، وتتعلق درجة حدوث هذا بالحرارة. إذا جمع الباحثون هذه المعلومات بنسب نظائر الأوكسجين من نفس القواقع، فبإمكانهم تحديد درجة الحرارة وحجم الجليد العالمي. انظر:

D. W. Lea, T. A. Mashiotta, and H. J. Spero, "Controls on Magnesium and Strontium Uptake in Plantonic Foraminifera Determined by Live Culturing," *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63 (1999): 2369-2379.

تُستخدم نسب النظائر الكالسيوم كذلك في أجهزة قياس الحرارة للمناخ القديم. انظر:

T. F. Nagler, A. Eisenhauer, A. Muller, C. Hemleben, and J. Kramers, "The 44Ca Temperature Calibration on Fossil and Cultured Globigerinoides sacculifer: New Tool for Reconstruction of Past Sea Surface Temperatures," *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 1 (2000): paper number 2000GC000091.

(١) تستخدم السيليكا الأحيائية التي تنتجها الدياتومات كبدائل لدرجة الحرارة، مع فترات باردة يتم إنتاج المزيد من الطين الدياتومي. انظر:

A. A. Prokopenko et al., "Biogenic Silica Record of the Lake Baikal Response to Climatic Forcing During the Brunhes," *Quaternary Research* 55 (2001): 123-132.

(٢) من بين الكميات المقاسة في الرواسب البحرية نجد نسب الكربون ونظائر الأوكسجين في الهياكل العظمية للمنخربات العوالقية، المخلفات من الجبال الجليدية الذائبة، والهيليوم ـ ٣ خارج الأرضي. تعاني الرواسب البحرية من مشكلة طفيفة ـ طفيف عن الديدان، أو التعكير. التعكير يقلل فعالية هذا القرار وقت النوى البحرية، ولكن بعض المواقع هي أقل تأثراً بكثير من معظم قلب الجليد، لأسباب واضحة، لا يعانون من هذه المشكلة، وهي اختلاطها بالديدان أو تعكرها. يقلل التعكر من الاستبانة الزمنية للعينات البحرية، لكن بعض المواقع هي أقل تأثراً بكثير من معظم المواقع. لا تعاني عينات الجليد، لأسباب واضحة، من هذه المشكلة.

(٣) J. O. Dickey et al., "Lunar Laser Ranging: A Continuing Legacy of the Apollo Program," *Science* 265 (1994): 482-490.

(٤) J. C. G. Walker and K. J. Zahnle, "Lunar Nodal Tide and Distance to the Moon During the Precambrian," =

وهذه عملية إعادة بناء مدهشة؛ لأن حركة المد والجزر ـ على النحو الذي حددته دورات الأرض المدارية، ودوران الأرض، ومدار القمر ـ تترك أنماطاً متكررة في طبقات نمو المرجان وقواقع الرخويات[١] كل ما نحتاجه لإعادة بناء هذه الدّورات هو قياس دقيق لأنماط السُّمْك المحفوظة على الطبقات[٢] تسمح العمليات غير العضوية بدراسات مماثلة. فعلى سبيل المثال، تخبرنا الرواسب المدية (tidalites) ـ بقايا متحجرة من الرواسب المودعة خلال فيضانات مدية ساحلية دورية ـ أنه قبل ٥٠٠ مليون سنة، كان يقدر اليوم بعشرين ساعة والشهر بـ٢٧,٥ يوماً من أيام الأرض الحالية[٣] كان القمر يتراجع بمعدل ثابت إلى حد ما على مدى مئات ملايين السنوات القليلة الماضية. يمكن للفلكيين تأكيد الفترة المدارية القمرية المعروفة بأفضل من واحد في المائة بقراءة الرواسب المدية الحديثة. من الصعب أن نتصور طريقة أكثر أناقة ودقة لقياس الخصائص المدارية لنظام الأرض والقمر مع الحفاظ عليها بحيث يمكن الوصول إليها.

= *Nature* 320 (1986): 600-602; K. A. Eriksson and E. L. Simpson, "Quantifying the Oldest Tidal Record: The 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa," *Geology* 28 (2000): 831-834.

(١) يعطي جيمس وولكر (James Walker) وكيفن زانلي (Kevin Zahnle) وصفاً موجزاً للطريقة الأساسية: يُستمدُّ أهم مصدر للمعلومات طويلة المدى من الشعب المرجانية المستحاثة والرخويات. باختصار، يتم تحليل الصفائح الرقيقة على أنها زيادات في النمو اليومي أو سجلات المد النهاري أو نصف النهاري، وفقاً للعادة العامة لنمو متحدراتها الحديثة. يمكن تعديل الشرائط (banding) الدقيقة للدورات المدية الشهرية أو الأسبوعية والدورة الموسمية السنوية، من تقدير عدد الأيام في السنة، عدد الأيام في الشهر، وعدد الشهور في السنة ("Lunar Nodal Tide," 600).

(٢) يفترض الباحثون أيضاً أن حجم مدار الأرض لم يتغير بشكل ملحوظ خلال المليار سنة القليلة الماضية. يتلقى هذا الافتراض دعماً من عمليات المحاكاة الرقمية على المدى الطويل لمدارات الكواكب في النظام الشمسي.

(٣) لمثال محدد لهذا النوع من الدراسة، انظر:

C. P. Sonett and M. A. Chan, "Neoproterozoic Earth-Moon Dynamics Rework of the 900 Ma Big Cottonwood Canyon Tidal Laminae," *Geophysical Research Letters* 25 (1998): 539-542. More general reviews of paleoastronomy as applied to tidal rhythmites are given by E. P. Kvale et al., "Calculating Lunar Retreat Rates Using Tidal Rhythmites," *Journal of Sedimentary Research* 69, no. 6 (1999): 1154-1168, and G. E. Williams, "Geological Constraints on the Precambrian History of Earth's Rotation and the Moon's Orbit," *Reviews of Geophysics* 38, no. 1 (2000): 37-59.

من خلال توفير مزيد من المعلومات الحديثة والأكثر دقة، تكمّل حلقات الأشجار المزيد من البيانات المناخية القديمة. كما لاحظنا أعلاه، تسمح لنا هذه الحلقات بإعادة بناء المناخات المحلية القديمة. تشير حلقات الأشجار الكبرى من حيث السمك إلى ظروف جو دافئة ورطبة، بينما تفترض الحلقات الدقيقة العكس. تنمو هذه الأشجار الأكثر حساسية للتقلبات المناخية المحلية في المناطق الجبلية دون الاتصال المباشر بالمياه الجوفية المستقرة؛ لهذا السبب، شكَّلت المناطق غرب الولايات المتحدة مجالاً رئيسيّاً للدراسات الميدانية بالنسبة للعلماء، الملقبين باسم علماء تأريخ حلقات الشجر (dendrochronologists)، والمتخصصين في هذا العمل.

تماماً كالمسجلات الثابتة لدرجة الحرارة وهطول الأمطار تعطينا الأشجار معلومات مفصلة حول التّغيرات المناخية المحلية؛ كظواهر الجفاف والحرائق الإقليمية غير الظاهرة في السجلات العالمية[١] يمكن للدراسة المستمرة لحلقات الأشجار أن تكشف عن طرق أخرى تسجل فيها هذه الأشجار بيئتها المحلية[٢]

في المرة القادمة التي تمشي فيها وسط غابة، وإلى جانب الإعجاب بجمالها الأخّاذ، فَكِّر في طول قامة الأشجار على أنها لفائف محكمة تحمل معلومات مسجلة في انتظار أن تُقرأ.

---

(١) يمكن الجمع بين السجلات المحصول عليها من جذوع الأشجار القديمة؛ كالمحفوظة في المستنقعات وقيعان البحيرات، لتكون سجلّاً طويلاً وكاملاً يمتد إلى ما هو أبعد من الأشجار الحية. وهذا ممكن إذا كان هناك تداخل بين جذوع عدة أشجار. يُسهل عدم انتظام النمط في حلقات الأشجار عمليات إعادة البناء هذه إلى حد كبير. إثر تكون الحلقات وأنماطها، تبدو مجموعات حلقات الأشجار متشابهة فيما بينها، مما يجعل إعادة البناء غامضة وغير مؤكدة. تحتفظ جامعة أريزونا بموقع ممتاز عن التأريخ بحلقات الأشجار. http:// www.ltrr.arizona.edu/.

(٢) على سبيل المثال، يخبرنا فورست ميمس الثالث (Forrest Mimms III)، العالم الهاوي الشهير، عن اكتشافه ما يعتقد أنه بديل في حلقات الأشجار على مستوى الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى الأرض. وتتضمن هذه الآلية نقل التانين من الأوراق إلى الفروع والجذوع؛ كاستجابة لتبادل مستويات الأشعة فوق البنفسجية.



● **الشكل ٢,٣: مجموعة متنوعة من الشعاب المرجانية في فلوريدا (لويس أغسيز، ١٨٨٠م). تعتبر الشعاب المرجانية، مثل العديد من الكائنات الحية الأخرى التي تنتج حلقات النمو أو العمليات غير البيولوجية التي تتضمن الطّباقية (Layering)، مسجلات بيانات عالية الدقة بشكل ملحوظ لمناخ الأرض في الماضي.**

تترك الأشجار سجلات أخرى مفيدة. يمكن أن تستخدم أوراق الأشجار المُسْتَحاثَة كبارومترات قديمة (palaeobarometers) لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي[1] يتمّ تبادل الغازات بين الأشجار والغلاف

---

(١) G. J. Retallack, "A 300 Ù Million-Year Record of Atmospheric Carbon Dioxide from Fossil Plant Cuticles," *Nature* 411 (2001): 287-290. See also W. M. Kurschner, "Leaf Sensors for CO2 in Deep Time," *Nature* 411 (2001): 247-248; M. Rundgren and O. Bennike, "Century-Scale Changes of Atmospheric CO2 During the Last Interglacial," *Geology* 30, no. 2 (2002): 187-189; D. J. Beerling, et al., "An Atmospheric pCO2 Reconstruction across the Cretaceous-Tertiary Boundary from Leaf Megafossils," *Publications of the National Academy of Sciences* 99 (2002): 7840-7836.

بدقة أكبر، تعيد هذه الدراسات بناء التغيرات القديمة في الضغط الجزئي لثنائي أكسيد الكربون، الذي ما هو إلا الضغط الذي يساهم فيه عنصر معين من الغلاف الجوي. مؤشر الثغور، نسبة الخلايا الموجودة في الأوراق التي هي الثغور، غير حساسة للتغيرات البيئية الأخرى؛ كأشعة الشمس والرطوبة النسبية.

الجوي عبر فتحات صغيرة توجد على سطح أوراقها تدعى بالثغور (stomata). وجد علماء النبات أن تركيز الثغور على سطح الورقة حساسة لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. (تكشف مستحثات الورقة عادة عن تفاصيل دقيقة بما يكفي لعد الثغور الدقيقة). تقدم لنا هذه الدراسات بالمقارنة مع عمليات إعادة بناء درجة الحرارة من نظائر الأوكسجين في المستحثات البحرية معلومات هامة عن علاقة طويلة الأمد بين درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون.

بعض الكائنات الدقيقة ليست فقط مسجلات بيانات مدمجة للغاية؛ بل إنها موجودة في كل مكان تقريباً فوق وتحت سطح الأرض؛ إذ يحتل العث (Mites) مثلاً، كل موطن تقريباً؛ كالفوضى التي تعم المنزل جراء الاحتفاظ بالأشياء وتكديسها حتى أننا نجده متخفياً بالكهوف المظلمة ومحفوظاً في الصَّواعِد (stalagmites) والهَوابِط (stalactites) الكلسية بواسطة المياه الغنية بالمعادن. وبما أن كل نوع من العث مكيف على مناخ معين، يمكن أن تعطي هيمنة بعض أنواع العث معلومات حول البيئة التي عاشت فيها. قامت دراسة حديثة بتوثيق اثني عشر نوعاً من العث في صواعد كهف يقع بالقرب من مغارات كارلسباد (Carlsbad Caverns) يرجع تاريخها لـ٣٢٠٠ سنة[١]، وقد كشفت أن جنوب غرب الولايات المتحدة كان أكثر رطوبة وبرودة قبل ٨٠٠ إلى ٣٢٠٠ سنة.

الساعات الأرضية:

إن الطّريقة الأساسية لتأريخ السجلات سواء الراسبة أو الناشئة، هي عدّ الطبقات فقط. وقد كان عد حلقات الشجر مفيداً خاصة لمعايرة تقنية التأريخ بالكربون ـ ١٤، ذلك أنه بإمكان العلماء المتخصصين في تأريخ الأشجار أن يقيسوا الكربون ـ ١٤ في حلقات مستقلة. وهذا أمر ضروري لأن معدل

---

(١) V. J. Polyak et al., "Wetter and Cooler Late Holocene Climate in the Southwestern United States from Mites Preserved in Stalagmites," *Geology* 29, no. 7 (2001): 643-646.

الكربون ـ ١٤ المنتَج في الغلاف الجوي ليس ثابتاً[١]

تحتوي الإفرازات العضوية للكائنات الحية على الكربون ـ ١٤، بمعنى: أن أي كائن حي يحتوي على بعض الكربون ـَ ١٤ عند موته. لذلك فإن أي طبقات ناشئة أو أي مواد عضوية طِباقية مثل حبوب اللقاح وحلقات الأشجار، هي الأدوات الممكنة للتأريخ العام. تعتبر حبوب اللقاح قيّمة بشكل خاص. تنتج الأشجار والنباتات حبوب لقاح خاصة بأنواعها على نحو عجيب. اشتكى **تشارلز داروين** أن التلقيح يبدو مسرفاً أو مبذراً حتى، ولكن هذا الإسراف بالذات هو ما يسمح لنا باستخدام حبيبات اللقاح لتأريخ الرواسب الطباقية. تلقى حبوب اللقاح هذه في كل حدب وصوب بواسطة الرياح، وقد تمّ تأريخها في الرواسب البحيرية بواسطة الكربون ـ ١٤ قبل ستين سنة، وفي المستنقعات قبل حوالي اثني عشر ألف سنة.

وهناك نظائر مشعة أخرى قصيرة الأجل في البيئة البحرية، من ضمنها عدد من عناصر الانحلال الوسيطة من النظائر المشعة طويلة الأمد. فنجد على سبيل المثال، اليورانيوم ـ ٢٣٤ والثوريوم ـ ٢٣٠ عالقين في الرواسب المرجانية والمحيطية، مما يسمح لنا الآن بتأريخها لما يعود إلى عشرات الآلاف من السنين القليلة الماضية[٢]

هناك نوع مختلف جدّاً من الساعات التي تستخدم الانعكاسات القطبية للمجال المغناطيسي الأرضي (المزيد من التفصيل في الفصل الثالث). تقع المعادن المغناطيسية على خط واحد مع الحقل المغناطيسي للأرض عندما تترسب دون أي تأثير خارجي. قام علماء المحيطات بمعلمة التّغيرات المغناطيسية لما يعود إلى ٢٠٠ سنة تقريباً، مما يوفر وسيلة للتأكد من

---

(١) هذا ناجم عن الانحرافات في تدفق أشعة الخلفية الكونية وفي تفاعلات الغلاف المغناطيسي لكوكبنا مع دورة البقع الشمسية ـ مجال بيكوكبي مُضَمَّن.

(٢) Wilson, Drury, and Chapman, *The Great Ice Age*, 45. The following study estimates that the Great Barrier Reef in Australia began growing about 600,000 years ago: International Consortium for Great Barrier Reef Drilling, "New Constraints on the Origin of the Australian Great Barrier Reef: Results from an International Project to Deep Coring," *Geology* 29 (2001): 483-486.

السجلات الأخرى على نحو مستقل[١]

وفي الأخير، هناك **دورات ميلانكوفيتش** (Milankovitch cycles)، التي قد تعتبر أحد أنواع الساعات الأكثر فائدة للرواسب الطباقية[٢] والتي تشكل مختلف الإيقاعات الحيوية طويلة الأمد؛ كتغيرات زاوية واتجاه الميل المحوري للأرض والتّغيرات الطفيفة في مداره. تؤثر هذه الدّورات على أي شيء يتعلق بتكاثف وتبخر الماء، أو لما هو حساس لتغيرات درجة الحرارة أو أشعة الشّمس. تحدث العديد من هذه الدّورات على الأرض بمدى يتراوح من ١٩,٠٠٠ إلى ٤٠٠,٠٠٠ سنة، كما هو موثق في عينات الجليد، الرواسب البحيرية العميقة وكذا البحرية[٣]

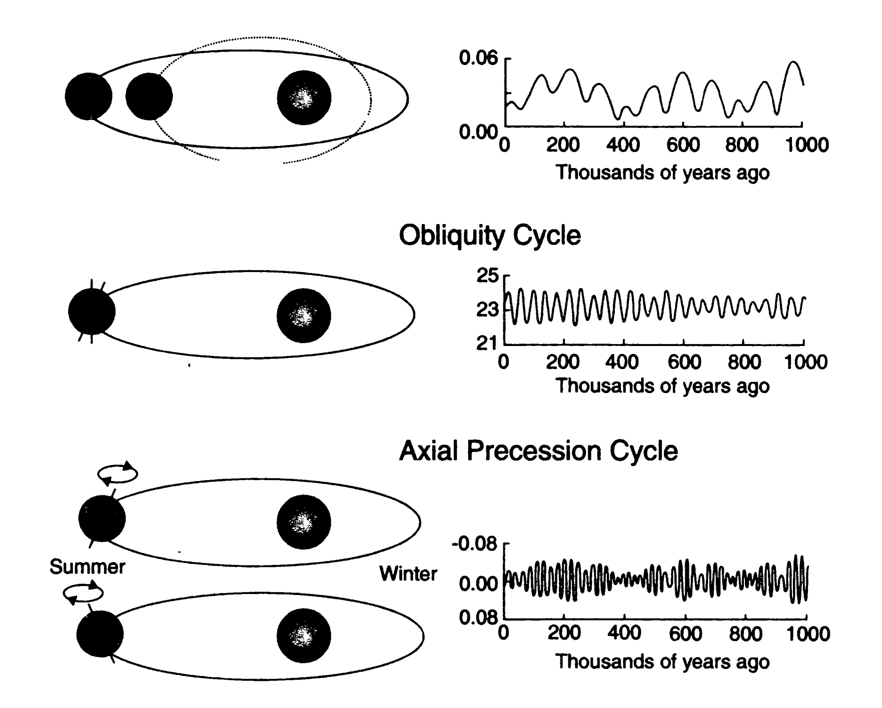
---

(١) تسمى دراسة التغيرات المغناطيسية المتبقية في الرواسب والصخور بالاستراتيجرافية (علم وصف طبقات الأرض) المغناطيسية (magnetostratigraphy). للمزيد من المناقشة المفصلة حول هذا الموضوع، انظر:
W. Lowrie, *Fundamentals of Geophysics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1997): 297-3022.

(٢) سميت هذه الدورات الفلكية نسبة إلى ميلوتين ميلانكوفيتش (Milutin Milankovitch)، الذي اقترح في عشرينات وثلاثينات القرن العشرين أن التغيرات طويلة الأمد في أشعة الشمس التي تتلقّاها خطوط العرض الشمالية العالية تحكمت في نمو وتحلل الصفائح الجليدية الشمالية. للحصول على معلومات إضافية حول هذا الموضوع، انظر:
W. S. Broecker and G. H. Denton, "What Drives Glacial Cycles?" *Scientific American* (January 1990), 49-56; R. C. L. Wilson, S. A. Drury, and J. L. Chapman, The Great Ice Age (London: Routledge, 2000), 61-65; A. Berger and M. F. Loutre, "Astronomical Forcing through Geological Time," in *Orbital Forcing and Cyclic Sequences: Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, P. L. De Boer, D. G. Smith, eds0 (Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994), 15-24.

(٣) استعرض دي بور (P. L. De Boer) وسميث (D. G. Smith) دورات ميلانكوفيتش وآثارها على عمليات الأرض في:
"Orbital Forcing and Cyclic Sequences," in *Orbital Forcing and Cyclic Sequences: Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, P. L. De Boer, D. G. Smith, eds. (Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994): 114.

كيف أن استخدام العلماء للدورات المدارية يعتمد على هدفهم النهائي. إذا كانوا يريدون معرفة المزيد عن التطور المداري على المدى الطويل للديناميات المعقدة للنظام الشمسي، فإنهم بحاجة إلى كرونومتر مستقل. هناك خيار واحد يستخدم الدورات الفلكية نفسها. هذا قد يبدو دوريّاً ـ كيف يمكن للمرء أن يستخدم الدورات الفلكية لضبط بياناته بغرض دراسة الدورات الفلكية؟ يمكن لعلماء الفلك القديم أن يتفادوا هذا الإشكال باستخدام دورة فلكية قصيرة المدة ومفهومة بشكل جيد لمعايرة نواة بحرية أو جليدية؛ وهم يستخدمون بالعادة دورة الميلان الخاصة بالأرض ذات ٤١,٠٠٠ سنة لهذا الغرض. ثم يقارنون الفترات المستمدة من دورات أخرى بالمحاكاة الحاسوبية لمعرفة المزيد عن الديناميات المدارية الأقل فهماً. من ناحية أخرى، إذا كانوا يريدون فقط معايرة عمر نواة وليسوا =



● **الشكل ٢,٤: دورات ميلانكوفيتش الفلكية بالنسبة للأرض قبل مليون سنة. تسبب الاختلافات الطفيفة في البارامترات المدارية للأرض تغيرات مناخية تترك آثارها على السطح. تمّت ملاحظة كل أنواع الاختلاف الثلاثة ـ الانحراف المركزي (eccentricity)، الميلان (obliquity) (أو الميل tilt) والمُبادَرَة (precession) في السجل الجيولوجي. تهيمن هذه الدّورات كالتالي: الانحراف خلال مدة ١٠٠,٠٠٠ إلى ٤٠٠,٠٠٠ سنة؛ الميل خلال ٤١,٠٠٠ سنة؛ والمبادرة على مدى ٢٣,٠٠٠ إلى ١٩,٠٠٠ ألف سنة. تقدر الفترة الحقيقية للمبادرة بـ ٢٦,٠٠٠ سنة، ولكن التعديل الطارئ بسبب دورات الانحراف يحدث خلال فترتين كما هو ملاحظ على السجل الجيولوجي. لم تمثّل الأرض والشّمس حسب السلم الحقيقي.**

بمجرد أن تُعايَر السجلات بشكل صحيح، يصبح بإمكان الباحثين أن يستعملوا سجلّاً واحداً كطريقة مستقلة للتأكد من السجلات الأخرى من خلال مقارنة بدائلها المشتركة[١] (وهذا يعني: أن السجلات الطباقية تصبح أكثر

= مهتمين بدراسة الدورات الفلكية، فإنهم يوظفون الدورات الفلكية كالأداة الرئيسية في التأريخ. هناك دراستان تمثيليتان أخريان لدورات ميلانكوفيتش في النوى البحرية وهما:

H. Pälike and N. J. Shackleton, "Constraints on Astronomical Parameters from the Geological Record for the Last 25 Myr," *Earth and Planetary Science Letters* 182 (2000): 1-14; J. C. Zachos et al., "Climate Response to Orbital Forcing Across the Oligocene-Miocene Boundary," *Science* 292 (2001): 274-278.

(١) على سبيل المثال، يمكنهم مقارنة كمية محتوى الغبار أو نسب نظائر الأوكسجين في الجليد وعينات الرواسب البحرية.

فائدة عندما يتاح منها أكثر من نوع واحد). وبالتالي فإن مختلف سجلات الأرض المتعددة تتيح للعلماء إمكانية إعادة بناء معظم سمات ماضي المناخ العالمي بتحديد أكثر دقة، ذلك أن هذه السجلات تحفظ تاريخ الأحداث من أعماق الأرض إلى النجوم البعيدة.

هناك العديد من الأمثلة، ولكن هذه الدراسة الوجيزة من شأنها أن تبيِّن أن الملايين من مسجلات بيانات الطبيعة تتخلل سطح الأرض والتي تقيس بتأنٍ مجموعة متنوعة من الظواهر.

ما علاقة كل هذا بصلاحية الحياة؟

قد يأتي هذا كمفاجأة، لكن الجوانب القابلة للقياس من بيئتنا والتي ناقشناها سابقاً ترتبط جميعها ارتباطاً وثيقاً بصلاحية الحياة بها. ولرؤية هذا، من المهم أن نفهم طبيعة الحياة ومتطلباتها الأساسية.

يفترض علماء الأحياء الفلكيين عموماً ولأسباب عملية أن الحياة خارج الأرض إذا كانت موجودة، ستشبه الحياة الأرضية. فإن كان هدفهم الأساسي هو اكتشاف الحياة في عوالم أخرى، سيكون من السهل إذا كان بإمكانهم الاعتماد في البحث على معرفتهم للحياة الأرضية. يزعم المنتقدون أن هذا الافتراض لا ينمُّ فقط عن الافتقار إلى الخيال (وفسح المجال لاحتمالات جديدة) بل على ضيق الفكر المتمركز حول الأرض. والحال أن لهذه المزاعم مبرراً علميّاً متيناً؛ حيث إن المتطلبات الكيميائية الأساسية للحياة تفرض وجود بيئة كوكبية مماثلة تساهم في تكوين هذه الحياة المعقّدة.

يمكننا أن نميز بين ثلاث أصناف للحياة، رغم الحدود الضبابية الفاصلة بينها: البسيطة، والمعقّدة والتكنولوجية. بما أن الحياة البسيطة شرط مقدم على الحياة المعقّدة، التي تشكل هي الأخرى شرطاً سابقاً على الحياة التكنولوجية، فإن هذه الأخيرة تتطلب أضيق نطاق من الظروف[1]؛ لأن اهتمامنا الرئيسي يتجه

(١) يجب أن نحدد أن هذه التصريحات صحيحة نظراً للظروف الفيزيائية التي نحصل عليها في كوننا. وإنا لا نقول: إن هذا يجب أن يكون صحيحاً لأي نوع يمكن تصوره من أنواع الحياة، مع أي مجموعة =

نحو الحياة المعقّدة والحياة التكنولوجية بعدها؛ أي: أننا نحتاج لمعيار يفصل فصلاً واضحاً بين الحياة البسيطة والحياة التي يمكن أن تصبح تكنولوجية[1] إذا وضعنا هذا قيد الاعتبار، يمكننا تعريف أصغر عنصر معقّد على أنه ميتازون هوائي مجهري (macroscopic aerobic metazoan) وهو كائن كبير إلى حدٍّ ما، أوكسجيني التنفس ومتعدد الخلايا. لولا الأوكسجين لما كان وجود الكائنات الحية ممكناً، خصوصاً التي تتوفر على أدمغة كبيرة الحجم. وهذا حصر أساسي ناتج عن الكيمياء البسيطة وعلم وظائف الأعضاء.

كيمياء الحياة:

غالباً ما تصف قصص الخيال العلمي أشكال الحياة الغريبة على أساس كيمياء مختلفة تماماً عن الحياة في الأرض[2] لكن كُتَّابَ الخيال العلمي يستخدمون الرخصة الفنية التي تسمح لهم بإطلاق العنان لمخيلتهم بلا قيد. ولعل الحياة القائمة على أساس السيليكون مفهوم شائع مثير للانتباه بلا شك، بسبب قرب هذا العنصر من الكربون في الجدول الدوري.

الكربون:

يجب أن تكون الحياة الكيميائية على المستوى الأساسي قادرة على تحمل التعليمات لبناء نسلها من الوحدات الذرية الأساسية[3] تتطلب هذه

= ممكنة التصور من القوانين الفيزيائية والبارامترات في أي كون محتمل.

(١) يمكننا التمييز بين الحياة البسيطة والمعقدة بطرق عدة. إذ يمكننا التفريق بين الكائنات الحية وحيدة الخلية ومتعددة الخلايا (أو ميتازوان metazoan)؛ وبين حقيقيات النوى وبدائيات النوى (أي: مع أو بدون نواة، على التوالي)؛ الكائنات الهوائية واللاهوائية (التي تتنفس الأوكسجين أو لا، على التوالي)، أو المجهرية (الميكرسكوبية) والعِيانِية (الماكرسكوبية). وهناك احتمال آخر وهو أن نعرف الحياة البسيطة بأنها الحياة التي سادت الأرض معظم تاريخها.

(٢) وبطبيعة الحال، قدَّم بعض العلماء أيضاً اقتراحات «كيمياء بديلة» لأشكال الحياة. انظر:

Gerald Feinberg and Robert Shapiro, *Life Beyond Earth: The Intelligent Earthling's Guide to Life in the Universe* (New York: William Morrow, 19800).

(٣) انظر:

N. R. Pace, "The Universal Nature of Biochemistry," *Publications of the National Academy of Sciences* 98 (2001): 805-8088.

التعليمات أو «المخططات» من بين أمور أخرى مهمة جزيئةً معقّدة تلعب دور الناقل، يجب أن تكون هذه الجزيئة مستقرة بما يكفي لتحمل الاضطرابات الحرارية والكيميائية التي لا يمكن إهمالها، وألا يكون استقرارها زائداً بحيث لا تتفاعل مع جزيئات أخرى في درجات منخفضة من الحرارة. بعبارة أخرى، يجب أن تكون **شبه مستقرة** (metastable)(١) للسماح بتفاعلات كيميائية يجب أن يكون هناك تقارب لأنواع عديدة أخرى من الذرات مقارنة مع التقارب الذي تتصف به. وعنصر الكربون يتفوق في هذا الصدد، بينما يخفق السيليكون لفترة قصيرة، أما العناصر الأخرى فبعيدة جدّاً حتى تنافس في هذا المضمار.

هناك حجج أخرى تدعم عنصر الكربون؛ كحقيقة أنه يساهم في تشكل الغازات عندما يندمج بالأوكسجين (لتكوين ثاني أكسيد الكربون) أو الهيدروجين (لتكوين الميثان)، وكلا الغازين يسمحان بالتبادل الحر مع الغلاف الجوي والمحيطات(٢) والأهم من ذلك، عندما تضاف الذرات الرئيسية الأخرى ـ الهيدروجين، والنيتروجين، والأوكسجين، والفوسفور ـ إلى الكربون، فإننا نحصل على المعلومات الأساسية (DNA وRNA)، والوحدات البنائية (البروتينات والأحماض الأمينية) للحياة. يعطي الكربون هذه الجزيئات قدرة على تخزين المعلومات تتجاوز إلى حد كبير قدرات البدائل

---

(١) يعلّق أخصائي الكيمياء الحيوية نيدهام (A. E. Needham) على شبه استقرار التفاعلات الكربونية: «كما هو الحال في العديد من النواحي الأخرى، يبدو أن الكربون لديه أفضل ما في كلا العالمين، في الواقع، إنه يجمع بين الاستقرار وقابلية التغير، وبين الزخم (Momentum) والقصور (inertia). معظم المركبات العضوية شبه مستقرة، بمعنى أنها ليست في توازن كامل مع ظروفها البيئية ومن السهل استدراجها لتتفاعل بشكل أكبر». تميز المواد البيولوجية، *The Uniqueness of Biological Materials* (Oxford: Pergamon Press, 1965), 30.

(٢) في المقابل، يشكل السيليكون سيليكا معدنية، عندما تتم أكسدته. وهذا ينتج عن قابلية السيليكون لتكوين روابط أحادية مع ذرات الأوكسجين، بدلاً من روبط ثنائية كما هو الحال بالنسبة للكربون. فالروابط الثنائية التي يشكلها الكربون مع كل ذرة من الأوكسجين لا تترك ذرات الأوكسجين حرة لتشكل روابط مع ذرات الكربون الأخرى بجوارها. ومع ذلك، فإن هذا ما يحدث مع ذرات الأوكسجين ذات الروابط الأحادية والمرتبطة بالسيليكون؛ أي: أنها ترتبط مع غيرها من ذرات السيليكون، مشكلة مصفوفة بلورية مستقرة من S_iO_2.

الافتراضية[1] وفي حقيقة الأمر فإن نصف دزينة أو نحو ذلك من المتطلبات الكيميائية الأساسية للحياة التي تناقش في الأدبيات نادرة أو غائبة في العناصر الكبرى لكنها موجودة في عنصر الكربون. (وإذا كنتم تعتقدون أنّ هناك وسيلة لحلّ الأمر، فإنّ محاولة صنع عنصر الكربون المكافئ بضمّ عدّة أنواع من الذّرات لن تنجح)[2]

الماء:

تحتاج الحياة إلى عنصر مذيب أيضاً يتيح طريقة لحدوث التفاعلات الكيميائية. وأفضل مذيب ممكن هو القادر على إذابة عدة أنواع من الجزيئات، ونقلها إلى مواقع التفاعل مع الحفاظ على وحدتها. يجب أن يكون هذا المذيب إذن على حالة سائلة؛ ذلك أن الحالة الصلبة لا تسمح بالتنقل كما أن الحالة الغازية لا تمكن من تكرار التفاعلات بما فيه الكفاية.

---

(١) يجادل عالم الأحياء مايكل دينتون (Michael Denton) أن الروابط الكيميائية الضعيفة التي تسمح للجزيئات العضوية الكبيرة بتشكيل أشكال ثلاثية الأبعاد هي أيضاً شرط أساسي للحياة: «تعتمد جميع الأنشطة البيولوجية لجميع الجزيئات الكبيرة تقريباً في الخلية بشكل حاسم على توفرها على أشكال دقيقة ثلاثية الأبعاد. والطبيعة لم توفر أي غراء آخر لتماسك البنية الفوقية الجزيئية للخلية. وكما لا يمكن أن يكون لدينا حياة قائمة على الكربون في الكون دون روابط تساهمية؛ إذ لن يكون هناك جزيئات، فكذلك نجزم لا يمكن أن يكون لدينا حياة قائمة على الكربون بدون هذه الروابط الضعيفة غير التساهمية؛ لأنه لن يكون للجزيئات أشكال ثلاثية الأبعاد معقدة وثابتة». مصير الطبيعة: كيف تكشف قوانين الأحياء عن الغاية في الكون،

Nature's Destiny: How the Laws of Biology Reveal Purpose in the Universe (New York: The Free Press, 1998), 114.

(٢) على سبيل المثال، ربما تكون السليكونات ـ سلاسل متناوبة من السيليكون وذرات الأكسجين ـ أفضل بديل للكيمياء العضوية، أو القائمة على الكربون. لكنها مع ذلك تفشل على عدة مستويات. **أولاً**: ليس هناك مذيب جيد لكيمياء السيليكون. **ثانياً**: تصبح كيمياء السيليكون أكثر فائدة بيولوجيّاً إذا كانت المواد العضوية متوفرة كسلاسل جانبية لترتبط بقاعدة السيليكون؛ ولكن هذا يجعل السليكونات زائدة عن اللزوم. بعبارة أخرى، لو كانت البيئة تتوفر على الكربون في المقام الأول، فإن بناء شكل الحياة من السيليكون سيكون مثل بناء رؤساء نادي الغولف من الطين عندما كان التيتانيوم في المتناول، **وأخيراً**: فنحن لا نرى كيمياء السيليكون في الطبيعة، بل في المختبر فقط، ولكننا نرى جزيئات الكربون طويلة السلسلة في العديد من الأماكن، بما في ذلك الأرض والنيازك، والمادة بين النجوم، التي تدعى بالوسط البينجمي (interstellar medium).

فضلاً عن ذلك، يجب أن يكون المذيب سائلاً وعلى نفس درجات الحرارة التي تظل فيها الجزيئات الأساسية للحياة مصانة بشكل كبير في الحالة السائلة أو الغازية. والعجيب أن الماء، العنصر الأكثر وفرة في الكون، يحقق هذه الشروط[1]

بل إنه يتعدى هذه المتطلبات الأساسية لكيمياء الحياة إلى أبعد من ذلك في حقيقة الأمر. وصف الكيميائي **لورانس هندرسون** (Lawrence J. Henderson) بجامعة هارفارد الطرق العديدة التي تبيِّن كيف أن الماء والكربون مناسبين للحياة في عمله الكلاسيكي سنة ١٩١٣م، «الملاءمة البيئية» (*The Fitness of the Environment*)[2] فمعرفتنا المتزايدة في الكيمياء لم تزد هذه الحجة إلا تأييداً[3] الموضوع أوسع من أن يتمّ تفصيله هنا، باستثناء عرض بعض الأمثلة المهمة:

أولاً: يتميز الماء نظريّاً بكونه أكثر كثافة كسائل منه كجسم صلب، (هناك مادة أخرى تتمتع بهذه الخاصية وهي عنصر البزموت). ونتيجة لذلك، فإن الجليد يطفو على الماء، عازلاً إياه جراء التبدد المفرط للحرارة[4] تحول

---

(١) نعني بمركب كيميائي، المادة التي تتكوَّن من جزيئات تحتوي على أكثر من نوع واحد من الذرات. يعتبر الهيدروجين الجزيئي أكثر الجزيئات وفرة في الكون. والمثير للاهتمام أن جزيئة الماء تتكوَّن من أكثر العناصر تفاعلاً ووفرة في الكون.

(٢) *The Fitness of the Environment: An Inquiry into the Biological Significance of the Properties of Matter* (New York: The Macmillan Company, 19133).
كان عمل هندرسون (Henderson) امتداداً كميّاً لعمل القرن ويليام وويل (William Whewell) في التاسع عشر:
Astronomy and General Physics, Considered with Reference to Natural Theology (London: William Pickering, 1833), ninth editionn published in 1864.

(٣) انظر:
Nature's Destiny; J. D. Barrow and F. J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 524-541; *The Uniqueness of Biological Materials*; and P. Ball, *Life's Matrix: A Biography of Water* (New York: Farrar, Straus and Giroux, 1999).
على خلاف «وجه المريخ»، الذي اختفى بعدما تم الحصول على صور عالية الدقة مع مدارات جديدة، أصبحت الملائمة العالية الظاهرة للماء بالنسبة للحياة الكيميائية أكثر إثارة للإعجاب لأن «دقتنا» في الكيمياء ازدادت منذ القرن التاسع عشر.

(٤) في الواقع، للجليد موصلية حرارية أعلى من الماء السائل. لكن الجليد المتشكّل على الماء لا يزال يعمل على إبطاء فقدان الحرارة من الماء أسفله. **أولاً**: يتم إعطاء حرارة كبيرة عندما يتشكل الجليد في =

هذه الظاهرة البسيطة دون تجمّد البحيرات والمحيطات من الأسفل إلى الأعلى؛ إذ من الصعب جدّاً، إن لم يكن من المستحيل، تغيير هذه الحالة بمجرد حدوثها. إذا كان الجليد ينزل إلى القاع، فسوف يبقى هناك، غير قادر على الذوبان، مفصولاً تماماً عن حرارة الشّمس الدافئة. يساعد سطح الجليد أيضاً، على تعديل المناخ من خلال التأثير في قدرة الأرض على امتصاص أو عكس أشعة الشّمس، كما سنفصل لاحقاً، في الفصل الرابع.

ثانياً، يتوفر الماء على حرارة كامنة مرتفعة عند تحوله من صلب إلى سائل ومن سائل إلى غاز[١]؛ لذلك يحتاج تبخيرُ غرام واحد من الماء إلى مزيد من الحرارة أكثر من **أي** مادة أخرى معروفة من نفس الكمية على درجة الحرارة المحيطة بسطح الأرض (وأعلى من معظم باقي المواد تحت أي درجة حرارية)[٢] وهذا يعني: أن عملية التبخر تتطلب كمية أكبر من الحرارة لتحويل الماء السائل إلى بخار. وعكسيّاً، يحرر البخار نفس القدر من الحرارة عندما يتكاثف لكي يتحول إلى ماء سائل.

ونتيجة لذلك، يساعد الماء على اعتدال مناخ الأرض كما يساعد الكائنات الحية على تنظيم درجة حرارة أجسامها. تسمح هذه الخاصية أيضاً لكائنات الماء الصغيرة بالتواجد على اليابسة؛ ولو كان الأمر غير ذلك، لتبخرت البرك والبحيرات بسهولة أكبر. في الحالات الثلاث، إذا تبخر غرام واحد من الماء بحرارة أقل، فإنه سيزيل كمية أقل من الحرارة على السطح.

= قاعدة الصفيحة الجليدية، مما يبطئ تشكل الجليد الجديد. **ثانياً**: الجليد لا يحمل الحرارة، لذلك يجب أن تتدفق من خلاله عن طريق الموصلية (conduction). وكلما نما سمكه، كلما ازدادت العازلية (insulation). **ثالثاً**: توفر الثلوج المتشكلة على سطح الجليد عزلاً إضافيّاً؛ لأن الثلج عازل أفضل من الجليد.

(١) تسمى كمية الحرارة المبددة عندما يتكاثف من غاز إلى سائل ومن سائل إلى صلب بالحرارة الكامنة. عند تسليط الحرارة على جسم من الماء، فإنها ترفع درجة حرارة الماء (حرارة محددة) وتبخر بعضاً منه (الحرارة الكامنة). ولكن الطاقة الحرارية التي تتبدد عبر المياه المتبخرة لا ترفع درجة حرارته. تعمل درجات الحرارة الكامنة المرتفعة جدّاً والمحددة للماء معاً من تغيرات درجة الحرارة في البيئة والتي تخضع لمدخلات مختلفة من الطاقة.

(٢) Needham, *The Uniqueness of Biological Materials*, 13.

قد لا يكون من قبيل الصدفة أن الماء يتواجد في الحالات الثلاث على سطح الأرض، وأن درجة حرارة السطح الرئيسية تساوي تقريباً ثلاثة أضعاف نقطة الماء ـ تركيبة فريدة؛ حيث يمكن لجميع الحالات أن تتواجد سوية، لن يوفر هذا مجموعة متنوعة من المساحات (والتي سيتمّ الكشف عن أهميتها في الفصل الرابع)، لكنه يستغل أيضاً خصائص الماء الشاذّة لتعديل درجة الحرارة.

ثالثاً، يتميز الماء السائل بالتوتر السطحي، الذي يفوق تقريباً جميع توترات السوائل الأخرى، الذي يمنحه أفضل تنقل شعيري في التربة، والأشجار، وأجهزة الدوران، وقدرة أكبر على تشكيل بنيات مستقلة مع الأغشية، والقدرة على تسريع التفاعلات الكيميائية على سطحها.

وأخيراً: من المرجح أن الماء ضروري لحركة الصفائح التكتونية للأرض والحفاظ عليها؛ كجزء مهم من نظام تعديل المناخ[١]

لاحظ **فرانك ستلينجر** (Frank H. Stillinger)، خبير في دراسة الماء، أن «حدوث ظواهرَ غريبةٍ على نفس المادة أمر لافت للنظر»[٢] يتميز الماء أكثر من أي مادة أو مركب آخر تقريباً، بعدة خاصيات تعد مهمة بالنسبة للحياة، ويمكن لكل خاصية أن تتفاعل مع الخاصيات الأخرى لتؤدي إلى نهاية نافعة من الناحية البيولوجية. يصف **مايكل دنتون** (Michael Denton) إحدى هذه النهايات ـ تجوية الصخور.

> خذ على سبيل المثال، عملية تجوية الصّخور ونتيجتها النّهائية، توزيع المعادن الحيوية التي تقوم عليها الحياة عبر الأنهار إلى المحيطات وفي نهاية المطاف إلى جميع أنحاء الغلاف المائي. يعمل التوتّر السّطحي المرتفع للماء على توجيهه إلى شقوق الصّخور؛ فتساعد قدرة التوسّع العالية التي يتميّز بها أثناء التّجمد على تصدّعها، مضفية شقوقاً إضافية لمزيد من التّجوية، كما يزيد من مساحة السّطح المتاحة لعملية إذابة المياه لنقل العناصر بانسيابية.

---

(١) K. Regenauer-Lieb, D. A. Yuen, and J. Branlund, "The Initiation of Subduction: Criticality by Addition of Water?" *Science* 294 (2001): 178-580.

(٢) Stillinger, "Water Revisited," *Science* 209 (1980): 451.

على رأس هذا، يمتلك الجليد اللّزوجة المناسبة والقوة لتكوين الأنهار المثلجة أو الأنهار الجليدية، التي تقلص كسور الصّخور وصدوعها بواسطة دورات التّجميد والإذابة المتكرّرة إلى أجزاء دقيقة من الطّمي الجليدي، تضفي عليها لزوجة الماء المنخفضة القدرة على الانزلاق في الأنهار والجداول الجبلية بسهولة، وحمل الأجزاء الدّقيقة من الصّخور والطّمي الجليدي بأعلى سرعة، والتي تساهم كذلك في عملية التّجوية وانهيار الجبال. تساهم أيضاً التّفاعلات الكيميائية للمياه وقدرتها على الإذابة في هذه العملية، مذيبة العناصر والمعادن من الصّخور، موزّعة إياها في آخر المطاف، عبر الغلاف المائي[١]

يشكل هذا التوزيع الكيميائي والميكانيكي للعناصر الحيوية جزءاً مهمّاً في التجوية الكيميائية، التي تعتبر هي الأخرى جزءاً مهمّاً في ضبط نظام المناخ الأرضي (سنتطرق إلى هذا الموضوع في الفصل الثالث)[٢]

كلها معاً الآن:

يوافق عالم الكواكب في جامعة أريزونا **جون لويس** (John Lewis)، على أنه لا يوجد ما نكافئ به عنصري الكربون والماء. وبعد النظر في البدائل الممكنة، يلخص قائلاً:

رغم كل الجهود التي نبذلها لإلغاء تحيّزنا لكوكب الأرض والبحث عن مذيبات مغايِرة وكمياء بنائي للحياة، فنحن مجبرون على أن نستنتج أنّ الماء هو أفضل المذيبات الممكنة، وأنّ مركبات الكربون ـ كما اتّضح ـ هي أفضل ناقلاتِ المعلومات المعقّدة[٣]

وجد **هندرسون** نفسه مذهولاً أيضاً بملاءمة الماء والكربون للحياة قائلاً:

---

(١) Denton, *Nature's Destiny*, 40-41.

(٢) يصف دينتون أيضاً دور الماء في تنظيم درجة حرارة الجسم في الحيوانات. تستمد قيمته من لزوجته، السعة الحرارية، التوصيل الحراري، وحرارة التبخر. وكما لاحظنا أعلاه، فإن بعض هذه الخصائص الفيزيائية، مفاتيح لتنظيم المناخ. وبالإضافة إلى ذلك، يصف عدة خصائص للماء (التي وصفنا بعضها آنِفاً) تعمل معاً لإبقائه في حالته السائلة. (دينتون، ٤٢ ـ ٤٥).

(٣) J. S. Lewis, *Worlds Without End: The Exploration of Planets Known and Unknown* (Reading: Helix Books, 1998), 199.

«من وجهة نظر مادية وحيوية على السواء، تمتلك عناصر الكربون، والهيدروجين، والأوكسجين ـ كلٌ في حد ذاته، ومجتمعة ـ ملاءمةً كيميائية فريدة من نوعها للآلية العضوية»[1] يبدو الماء مناسباً بشكل مثالي للكيمياء القائمة على الكربون. كبداية، يمكننا القول: إن التفاعلات العضوية هي الأمثل على نفس مستويات درجة الحرارة التي تكون فيها المياه سائلة على سطح الأرض[2] عند درجات حرارة منخفضة، فإن التفاعلات الكميائية تكون بطيئة جداً، وفي حال درجات الحرارة المرتفعة تصبح المركبات الحيوية غير مستقرة.

تتوقف قدرة الأرض على ضبط مناخها، على الماء والكربون، لا أقل؛ لأن ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء ـ والميثان إلى حدٍّ ما ـ غازات جوية دفيئة مهمة. يتمّ تبادل هذه الأبخرة الأساسية للحياة بطلاقة بين المخلوقات الحية على كوكبنا، في الغلاف الجوي، في المحيطات، وداخل اليابسة. بالإضافة إلى قابلية ثاني أكسيد الكربون للذوبان في الماء، ويخلقان معاً نظاماً مناخيّاً موحداً، وقد أبقيا كوكب الأرض خصباً طيلة ٥٠٠ مليون سنة الماضية، من الصعب أن يوجد ارتباط وثيق بكيمياء الحياة مع تجاهل الحاجة إلى البيئة الكوكبية[3]

إننا متألفون من غبار الأرض، وإلى هذا الغبار سنعود. ليست الحياة مجرد خَبَث زائل يتشبث بسطح خامد. تتفاعل الحياة، والصخور والغلاف الجوي ضمن شبكة معقّدة من الحلقات المفرغة الباعثة على تذكر المعضلة الكلاسيكية للبيضة والدجاجة: تحتاج الحياة إلى وجود كوكب صالح للحياة،

---

(١) Henderson, *The Fitness of the Environment*, 248.

(٢) Denton, *Nature's Destiny*, 115-116.

(٣) يوجد ثنائي أكسيد الكربون في لتر من الماء بالقدر الذي يوجد به في لتر من الهواء. بدون الذوبانية العالية لثنائي أكسيد الكربون في الماء، لم يكن بإمكان مخلوقات مثلنا أن تخلص خلاياها من هذا المنتج لاستقلاب الأكسدة. عند القيام بذلك، يكون ثنائي أكسيد الكربون الذائب حمضاً ضعيفاً في الدم، الذي يساعد على تنظيم درجة الحموضة في الكائنات الحية (دينتون، ١٣٢ ـ ١٣٧). هذا التعاون بين الكربون والماء مهم أيضاً على المستوى الكوكبي. يكون ثنائي أكسيد الكربون الذائب في ماء المطر حمضاً ضعيفاً مهمّاً في التجوية الكيميائية للصخور العارية.

مع أن الأنظمة الحية البسيطة تعتبر مكونات لازمة لإيجاد كوكب صالح للحياة. حتى أن **جيمس لوفلوك** (James Lovelock) يذهب إلى أن يسمي العمليات البيولوجية والجيوفيزيائية نوعاً من الفيزيولوجيا الكوكبية؛ لأن بيئتنا الكوكبية - مثل الاستقلاب الحيواني للحيوان - لا تزال مستقرة نسبيّاً على الرغم من تغير الظروف الخارجية. لكن المقارنة أعمق مما يبدو، بما أن كلا النّظامين يستعملان الخاصيات المميزة للماء والكربون.

وبما أن الكربون والماء مناسبان تماماً للحياة على مستوى الجزيئات، والخلايا، والكائنات، والكواكب[١]، تكاد تنعدم الحياة في البيئات التي تفتقر إلى الكربون والماء الكافيين. بمجرد أن نعي مدى ملاءمة مركبات الماء والكربون بالنسبة للحياة، يجب علينا أن نتقبل الصعوبات التي تضعها أمام كوكب صالح للحياة. إن كوكباً أقل مرونة من الأرض من حيث ضبط المناخ بواسطة الماء والكربون، سيكون بالتأكيد أقل صلاحية للحياة[٢].

حتى إن حياة بسيطة تتطلب طبعاً عناصر كيميائية أخرى زيادة على الكربون والهيدروجين والأوكسجين. تحتاج بكتيريا دقيقة إلى سبعة عشر عنصراً، ويحتاج الإنسان إلى سبع وعشرين عنصراً[٣].

بشكل عام، كلما زاد حجم وتعقيد الكائن كلما تنوعت البروتينات

---

(١) على الرغم من أننا وصلنا إلى هذه النقطة المهمة بشكلٍ مستقلٍّ، فإن يجب أن نشير أنها أقيمت بشكل صريح من طرف دينتون في «مصير الطبيعة»، وبوضوح أقل عند هندرسون في «الملائمة البيئية».

(٢) هناك رابط أكثر غموضاً بين الكربون وأحد عنصري الماء: الأوكسجين. إن تركيب الكربون والأوكسجين في النجوم بكميات مماثلة يتطلب أن تكون مستويات الطاقة النووية في نواة الكربون متوافقة بشكل دقيق قرب مستوى الواحد في المائة. هذا أحد الأمثلة العديدة لـ«التوافق الدقيق» (fine-tuning) في الفيزياء، الذي سنناقشه في الفصل العاشر.

H. Oberhummer, A. Csoto, and H. Schlattl, "Stellar Production Rates of Carbon and Its Abundance in the Universe," *Science* 289 (2000): 88-90.

انظر: للمزيد عن تكون الكربون في السيرة الذاتية لفريد هويل:

Home Is Where the Wind Blows (Oxford: Oxford University Press, 1997).

(٣) R. E. Davies and R. H. Koch, "All the Observed Universe Has Contributed to Life," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* B 334 (1991): 391 Ù 403; V. Trimble, "Origin of the Biologically Important Elements," *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 27 (1997): 3-21.

والأنزيمات التي يتطلبها. إذا كانت المحيطات لا تشكل مصدراً كافياً لجميع العناصر، فإن معظم العناصر الرئيسية تتركز بما يكفي في مياه البحر من أجل الحياة، فالغلاف الجوي مثلاً، مصدر رئيسي للنيتروجين، والقارات مصدر رئيسي للعديد من العناصر الغذائية المعدنية، بما في ذلك الموليبدينوم[(١)] هذا يشير إلى أن بيئات الكواكب التي تفتقر إلى وجود قارات أو إلى غلاف جوي غني بالنتروجين قد لا تكون قادرة على دعم محيط حيوي مكين[(٢)]، وبِغَضِّ النظر عن هذه العناصر اللازمة، تحتاج الحياة إلى مصدر طاقة مستقر وطويل المدى، هذه المصادر الأساسية هي: الإشعاع النجمي، والحرارة الجوفية[(٣)]، والطاقة الكيميائية. تحتاج البيئة إلى ما يكفي من الطاقة للحفاظ على سيولة المياه، لكن حتى مع توفرها على الماء السائل ومع مصادرَ ضعيفةٍ للطاقة المخففة على سطحها لن تكون قادرة على دعم محيط حيوي خصب. إننا نحتاج إلى مزيد من الطاقة لهذا الغرض.

تتطلب الحياة المعقّدة ـ أيضاً ـ حدّاً أدنى من نظام دعم بيولوجي من خلال نشاط كائنات ذاتية التغذية (autotrophs)، وهي كائنات حية تركب الجزيئات العضوية من مادة لاعضوية بسيطة[(٤)]؛ فمثلاً، تقوم الطحالب ذات

---

(١) وحالة الموليبدينوم مثيرة للاهتمام، فهو المفتاح لعمل أنزيمين هما النيتروجيناز ونترات ريدوكتاز، الذين يشاركان في تثبيت النيتروجين. النيتروجين في الحالة الغازية ليس مفيداً للحياة، لذلك فتحوله إلى شكل كيميائي ليكون مفيداً لها أمر ضروري. وحقيقة عدم وجود تحول معدني آخر تستخدمه الحياة لتثبيت النيتروجين، حتى مع ندرة الموليبدينوم في بعض أجزاء الأرض، تستلزم عدم وجود بديل لذلك. ذكر فرانسيس كريك (Francis H. C. Crick) وليزلي أورجيل (Leslie E. Orgel) ندرة الموليبدينوم في قشرة الأرض كدليل محتمل أن الأرض «خُصّبت» من طرف حضارة خارج كوكب الأرض (تسمى بالبانسبيرميا (panspermia) الموجهة، أو كما يلقبها المتشككون استدعاء نظرية الرجل الأخضر الصغير في الفراغ).

"Directed Panspermia," *Icarus* 19 (1973): 341-3466.

(٢) لاحظ أيضاً أن العديد من العناصر الكيميائية قد وُجدت في محيطات الأرض؛ لأنها جُرفت من القارات؛ إذ إن العديد من العناصر الأساسية للحياة لن تكون متاحة بتركيز كاف على جسم كوكبي يتوفر على محيطات لكنه يفتقر إلى قارات.

(٣) يمكن أن يكون للحرارة الأرضية عدة مصادر: التحلل الإشعاعي، الحرارة المتبقية من تشكل الكوكب، تمايز الجزء الداخلي للكوكب، والإجهاد المدي. تسخين سطح الكوكب من الأسفل.

(٤) B. M. Jakosky and E. L. Shock, "The Biological Potential of Mars, the Early Earth, and Europa," *Journal of Geophysical Research* 103 (1998): 19359-19364.

التركيب الضوئي وبعض البكتيريا، ببناء الغذاء من هذه المواد اللاعضوية كثاني أكسيد الكربون، والنتروجين، والميثان، والهيدروجين ومعادن مختلفة. تصبح هذه الطحالب والبكتيريا ومنتجاتها بدورها غذاء لكائنات أخرى تتطلب غذاء عضويّاً ـ غير ذاتية التغذية (heterotrophs)، مثلنا. تساهم بعض الأوساط في دعم الحياة الجرثومية متدنية المستوى، لكن إذا كانت تفتقر إلى الطاقة للحفاظ على استمرار ساكنة وافرة ذاتية التغذية، فإنها لا تتيح إمكانية تواجد المزيد من الكائنات الحية المعقّدة.

تعتمد الحياة على الطاقة الكيميائية لحاجياتها الاستقلابية الفورية، كما أن عماد الطاقة الكيميائية هو تبادل الإلكترونات. يتمّ تحرير أكبر قدر من الطاقة عندما تقوم العناصر الموجودة على طرفي نقيض من الجدول الدوري بتبادل الإلكترونات فيما بينها، يقع الأوكسجين في المركز الثاني بعد الفلورين في كمية الطاقة الكيميائية المحررة عندما يتحد بعناصر أخرى(١)، يعتبر الهيدروجين، والكربون مدمجاً مع الهيدروجين، أو الهيدروكربونات، أفضل العناصر التي يمكن دمجها بالأوكسجين. تستخدم جميع أشكال الحياة المعقّدة تفاعلات الأكسدة هذه (تنتج التفاعلات الشائعة الأخرى طاقة كيميائية أقل بكثير). وليس من قبيل الصدفة أن تكون عناصر الأكسدة التي هي الماء وثاني أكسيد الكربون المكونات الأساسية غير السامة اللازمة لنظام ضبط المناخ. لذلك يمنح الهيدروجين، والكربون والأوكسجين، سوية، أفضل مصدر للطاقة الكيميائية. وهذه حقيقة مذهلة لم تغب عن نظر **هندرسون**؛ إذ يقول: «هذه آخر حجة لدي أقدمها، ولكنها الأكثر فاعلية. يتضح أن تلك التّغيرات الكيميائية التي تظهر لأسباب عدة والأكثر ملاءمة لتصبح أصل الفيزيولوجيا، هي التّغيّرات نفسها التي يمكنها تحويل أكبر تدفق للطاقة داخل مجرى الحياة(٢)

---

(١) لاحظ ديتتون أن التفاعلات الكيميائية مع الفلور فعالة جدّاً لاستقرار التفاعلات العضوية، ونتاج تفاعل الهيدروجين والفلور حمض فعال جدّاً.

(٢) Henderson, *The Fitness of the Environment*, 247-248.

الأوساط البيئية القاسية:

جعلت الدراسات الحديثة للكائنات التي تدعى بالإكستريموفيل (extremophiles) العديد من علماء الأحياء الفلكيين أكثر تفاؤلاً بشأن احتمال العثور على حياة من هذا النوع على الكواكب الأخرى[١] نجد هذه المخلوقات العجيبة في البحر الميت الأُجاج والبحيرة المالحة الكبرى (Great Salt Lake)، وفي المياه الحارة حول المنافس الحرارية البحرية العميقة (deep-sea thermal vents)، وفي ينابيع يلوستون المغرغِرة النتنة، وفي حقول الثلج المتجمدة للقطب الشمالي والوديان الجافة من القارة القطبية الجنوبية. لكننا قد لا نجد مثل هذه الكائنات الحية في أوساط معزولة خارج الأرض؛ لأن هذه الكائنات الأرضية ليست مستقلة عن أنواع الحياة الأخرى كما يبدو؛ فمثلاً، تحتوي المجتمعات البيولوجية الموجودة حول بعض المنافس الحرارية البحرية العميقة على عدة مخلوقات تتطلب الأوكسجين.

تنتج الكائنات الحية التي تعيش في السطح الأوكسجين عن طريق التركيب الضوئي، فيتمّ دمجه في أعماق المياه المحيطية، قد تكون تجمعات النفائس هذه مرتبطة بطرق مباشرة أخرى بحاضر حياة السطح وماضيها[٢] على سبيل المثال، يمكن أن تكون هذه الحيوانات قد هاجرت إلى هناك من المياه الضحلة.

---

(١) أليفة الظروف القاسية (extremophiles) كائنات حية دقيقة يمكن أن تعيش في ظروف بيئية قاسية تتجاوز متوسط درجة الحرارة، الضغط، الرطوبة، الملوحة، والحموضة. انظر:

Michael Gross, *Life on the Edge: Amazing Creatures Thriving in Extreme Environments* (Cambridge: Perseus, 2001); L. J. Rothschild and R. L. Mancinelli, "Life in Extreme Environments," *Nature* 409 (2001): 1092-1101.

(٢) إن الترابط الداخلي للحياة يجعل البانسبيرميا البينجمية أقل احتمالاً حتى لو نجت بكتيريا شديدة التحمل من رحلة طويلة إلى نظام كوكبي آخر، أو حدث غير محتمل إلى أبعد حد، فمن غير المرجح أنه بإمكانها أن «تخصب» لوحدها كوكباً آخر. وجود البانسبيرميا ضمن نظام كوكبي معين أمر محتمل؛ لأنه يمكن تبادل أعداد كبيرة من الحشرات المتنوعة بين الكواكب.

																	2 He
3 Li	4 Be											5 B					10 Ne
												13 Al					18 Ar
		21 Sc	22 Ti									31 Ga	32 Ge			35 Br	36 Kr
	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb		43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In		51 Sb	52 Te		54 Xe
55 Cs	56 * Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 ** Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Uuu	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

*57 La	58 Ce	59 Pr	80 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
**89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Mb	102 No

Elements necessary for *E. coli*

Additional elements necessary for Humans

● **الشكل ٢,٥: الجدول الدوري للعناصر. يعتبر الهيدروجين (H) أخف العناصر، وهو الأول كذلك على الجدول. يليه عنصر الهيليوم (He) ٢في المركز الثاني، تحتاج الحياة المعقّدة إلى عناصر أكثر من التي تكفي الحياة «البسيطة» وحيدة الخلية. تحتاج البكتيريا إلى سبعة عشر عنصر، بينما يحتاج الإنسان إلى سبعة وعشرين عنصراً. بالإضافة إلى ذلك، فإن بعض هذه العناصر الأساسية؛ كالحديد، مع العناصر المشعة الموجودة بالقرب من نهاية الجدول، ضرورية للعمليات البيولوجية التي تنتج كوكباً صالحاً للحياة.**

تعيش الإكستريموفيل أيضاً بفضل الصخور والهيدرجين بعمق ميل في بازلت نهر كولومبيا بشرق واشنطن وغيرها من بقع الأرض الباطنية حول الكوكب. تُستقلب حياة باطن الأرض النموذجية ببطء مقارنة بالحياة على السطح، كما أن تركيز الخلايا بها مخفف جدّاً.

ومجدداً، فهي تعتمد على الأرجح على حياة سطح الأرض. هناك أدلة متزايدة على أن التجمعات الميكروبية بباطن السطح العميق تتغذى على المواد العضوية الذائبة، إما من الأتربة المُسْتَحاثة أو من المواد العضوية التي تمّ تناقلها هبوطاً من السطح[1] ونتيجة لذلك، قد لا تكون النفائس الحرارية والمجمعات التي تعيش بعمق السطح قادرة على أن توجد في عالم لم يتوفر قط على حياة سطحية وافرة أو أنه أبعد من أن يكون مصدراً للطاقة الضوئية.

---

(١) لمزيد من المعلومات عن اعتماد الحياة تحت السطحية على الحياة السطحية، انظر:

R. A. Kerr, "Deep Life in the Slow Slow Lane," *Science* 296 (2002): 1056- 1058.

تقترح الدراسة التي قام بها عالم الأحياء الفلكي **أبيل منديز** بجامعة بويرتو ريكو في أريسيبو أن معظم بدائيات النوى (prokaryotes) ـ كائنات حية «بسيطة»[1] بدون نواة ـ تنمو بشكل أفضل في حرارة تتراوح بين ٧٠ و١٢٦ درجة فهرنهايت، مع نمو أمثل في ٩٦,٨ درجة[2] وهذا عمر مهم لأن التنوع البيولوجي في المناطق الاستوائية يعتمد في الغالب على معدل نمو مثل هذه الكائنات الحية[3]، والحياة المعقّدة أقل قدرة على تغيير درجة حرارتها[4]، ذلك أن درجات الحرارة المختلفة عن هذا المعدل الأمثل توفر دعماً أقل بكثير لمحيط حيوي معقّد.

لاحظ **منديز** كذلك أن الحياة لن تكون ممكنة تحت الضغوط العالية على نحو تعسفي؛ إذ يقدر الحد الأقصى بما يقارب ألف مرة الضغط على سطح كوكب الأرض. يمكن لعدة أوساط من النّظام الشّمسي؛ حيث يمكن للماء السائل أن يتواجد، أن تتجاوز هذا الحد. بالإضافة إلى ذلك، إذا كانت أنواع مختلفة من الإكستريموفيل تستطيع أن تتحمل شدة الحرارة، والمحتوى المالح،

---

(١) إننا نضع كلمة «بسيطة» في الاقتباسات؛ لأن حتى أبسط الكائنات على الأرض معقدة جدّاً، بحيث تتطلب جزيئات الحمض النووي الطويلة، والعديد من البروتينات والمواد الكيميائية المتنوعة.

(٢) وهذا يتراوح ما بين ٢٩٤ و٣٢٥ درجة كلفن (٢١ إلى ٥٢ درجة مئوية)، مع نمو أمثل في حرارة ٣٠٩ درجة كلفن (٣٦ درجة مئوية). وضع منديز معادلة الحالة لحياة بدائيات النوى، التي يربط فيها معدل نموها بدرجة الحرارة، والضغط، وتركيز الماء في بيئتها المحلية. انظر:
"Planetary Habitable Zones: The Spatial Distribution of Life on Planetary Bodies," *paper presented at the 32nd Lunar and Planetary Science Conference, March* 12-16, 2001.

(٣) يرتبط تنوع النباتات الوعائية بإنتاجية النظام البيئي. انظر:
S. M. Schneider and J. M. Rey-Benayas, "Global Patterns of Plant Diversity," *Evolution and Ecology* 8 (1994): 331-347.

وتؤكد الدراسات الحديثة أن التنوع البيولوجي يرتبط عموماً بالإنتاجية؛ انظر:
R. B. Waide, et al., "The Relationship Between Productivity and Species Richness," *Annual Review of Ecology and Systematics* 30 (2000): 257-300.

وتعتمد الإنتاجية بدورها على عوامل مثل درجة الحرارة وتوفر المواد المغذية؛ انظر:
A. P. Allen, J. H. Brown, and J. F. Gillooly, "Global Biodiversity, Biochemical Kinetics, and the Energetic-Equivalence Rule," *Science* 297 (2002): 1545-1548.

(٤) لاحظ دينتون أن ذوبان الأوكسجين في الماء ينخفض بسرعة مع زيادة درجة الحرارة، وأن الحاجة الاستقلابية للأوكسجين تتضاعف مع كل ارتفاع لدرجة الحرارة بثمانية عشر درجة؛ تقيد هذه العوامل فقط، الحياة المعقدة بدرجات حرارة أقل من ١١٥ فهرنهايت. Denton, *Nature's Destiny*, 124.

والرطوبة، والحمضية، فإن قليلاً منها يمكن أن يتحمل **نطاقاً** واسعاً جدّاً من الظروف البيئية[(١)] وفي الواقع، من الصعب نوعاً ما أن يتمّ إبقاؤها دخل المختبر[(٢)]، فما دام من المؤكد أن نتعلم شيئاً عن مجموعة من الظروف الحادة؛ حيث يمكن للحياة أن توجد عن طريق الإكستريموفيل، لا ينبغي لنا أن نفترض أننا سنجدها على كواكب تختلف بيئتها تماماً عن بيئة كوكبنا.

ثم إن دراسة الكواكب الأخرى في النّظام الشّمسي يعزز لدينا المعرفة بمجال الشروط اللازمة للحياة. وكلما أمكننا مقارنة الأرض بالكواكب الأخرى، أدركنا أن الأرض مضيف استثنائي للحياة البسيطة كما المعقّدة (أكثر عن هذا في الفصل الخامس).

ومع ذلك؛ فإننا قد نجد الحياة في أي مكان آخر من النّظام الشّمسي (انظر: الملحق (ب) على البانسبيرميا، ٣٤٣ ـ ٣٤٥). أدرك علماء الأحياء الفلكيون أن الأجسام الكوكبية كانت تتبادل المواد فيما بينها، خصوصاً خلال التاريخ المبكر للنظام الشّمسي، وحتى الآن فقد اجتمعت قطع سليمة من المرّيخ والقمر مكونة نيازك حول الأرض. بالمثل، من المرجح أن الأرض قد لوثت الأجسام الكوكبية الأخرى من النّظام الشّمسي بميكروباتها. لا يمكن

(١) تشير البحوث المتعلقة بدراسة الثيرموفايل (thermophiles) إلى أن هذه الكائنات تقاوم درجة الحرارة العالية من خلال دمج حمض معين من الأحماض الأمينية في بنيتها البروتينية. تجعل هذه التعديلات (المتعلقة بأقربائها من الميسوفيليك (mesophilic cousins) ـ أليفة الحرارة المعتدلة) تسلسل الأحماض الأمينية أكثر تقييداً. كما أنها تجعل البروتينات أكثر صلابة في درجات حرارة أقل. انظر:
C. Vielle and G. J. Zeikus, "Hyperthermophilic Enzymes: Sources, Uses, and Molecular Mechanisms for Thermostability," *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 65 (2001): 1-43.

(٢) وهو ما يوافقه جيمس لوفلوك (James Lovelock) بقوله:
هناك بكتيريا تتحمل الملوحة تدعى بالهالوفيل (halophiles)، وهي تعيش بشكل غير ثابت في المناطق المالحة من الأرض. قامت هذه البكتيريا بحل المشكل مباشرة من خلال تطوير بنية خاصة لغشاءها تقاوم شدة الملوحة. وهي تعمل لكن بثمن؛ لأن هذه الكائنات لا يمكن أن تنافس البكتيريا السائدة عندما تكون شدة الملوحة طبيعية. فهي تقتصر على مكانتها النائية والنادرة، وتعتمد على بقية حياتها للحفاظ على بيئة ملائمة لها على سطح الأرض. وتشبه الأشخاص غريبي الأطوار في مجتمعنا الذين يعتمد بقاؤهم على قيد الحياة، على القوت الذي نستطيع توفيره وبالكاد يستطيعون العيش وحدهم.
The Ages of Gaia (New York: W. W. Norton & Company, 1988), 108.

للحياة أن تزدهر على معظم الأجسام كعطارد، والقمر، والمشتري والكويكبات. ربما كان المرّيخ مع ذلك رطباً لبعض الوقت في تاريخها المبكر، وكان يمكن أن يدعم الحياة، ولكن اليوم لا نجد أي دليل للحياة على سطحه. وحتى مع مساعدة الميكروبات الخاصة بكوكبنا، فإن الظروف القاسية للأجسام الكوكبية الأخرى في النّظام الشّمسي حالت دون نجاتها أو تحويلها تلك الكواكب إلى أوساط أكثر ملاءمة للحياة[1] لا تتوفر بعض أنواع الكائنات شديدة التحمل التي تعيش في بعض الواحات من أنحاء العالم القاحلة، على فرصة لتنظيم المناخ؛ بل هي تعيش تحت رحمة ظروف وسطها. هذا يعني: أن الحياة البسيطة قد لا تكون منتشرة على نطاق واسع في الكون كما يعتقد كثير من علماء الأحياء الفلكيين، حتى في ضوء ما نعرفه عن الإكستريموفيل على الأرض. ومع ذلك: فقد نجد بعض الميكروبات تحت سطح المرّيخ فقط بسبب تلويث الأرض له، في الحقيقة فسيكون من المفاجئ جدّاً ألا نجد أيّاً منها.

المعلومات المستنبطة من الحياة بشأن قابلية القياس:

في اتخاذها العناصر المعدنية الأساسية ومصادر الطاقة لإنتاج مركبات عضوية، تجعل الكائنات ذاتية التغذية أوساطها قابلة للعيش على مدى الحياة. فعلى سبيل المثال، تقوم الكائنة البحرية بإفراز الكربونات ـ باعتباره جزءاً مهمّاً في دورة الكربون ـ التي تترسب بقاع المحيط، (سنتحدث أكثر عن هذه الدورة بالفصل الثالث) بالإضافة إلى أن العوالق النباتية البحرية **(phytoplankton)** تنتج معظم الأوكسجين الموجود في الغلاف الجوي. نعتمد وكذا الحيوانات المتعايشة على حياة بسيطة بشكل مباشر: كمصادر الغذاء والمساعدات

(١) إن عدم قدرة الميكروبات الأرضية على تحويل المريخ إلى كوكب خصب تقف في وجه البانسبيرميا باعتبارها طريقة فعالة «لِتخصيب» كوكب لا يشبه كوكب الأرض فقط؛ كما أن حياة الأرض لم تحفظ الزُّهرة في حالة صالحة للحياة. تمدنا هاتان التجربتان الطبيعيتان بأدلة على الصلة الوثيقة بين الحياة والجيولوجيا على كوكب معين. كم هو صعب إذن أن نتوقع أن يكون ميكروب واحد قادراً على تخصيب كوكب بعيد يدور حول نجم آخر؟

الهضمية والمفككات. تجعل بساطة هذه الحياة الأرض كوكباً قابلاً للقياس ـ بواسطة حلقات الأشجار وثغور الأوراق والعث في صواعد الكهف والهياكل العظمية للمُنَخْرَبات العوالقية في رواسب المحيطات العميقة، وحبوب اللقاح في رواسب البحيرات، على سبيل الذكر لا الحصر.

كل عمليات النمو والترسب المذكورة في هذا الفصل تعتمد في النهاية على الدورة الهيدرولوجية. وتشمل هذه الدورة تساقط الثلوج في القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند؛ هطول الأمطار في القارات التي تجدد الأنهار والبحيرات والينابيع وتغذي الأشجار وغيرها من الكائنات الحية؛ وتآكل الجبال الذي يوفر المعادن الضرورية للحياة في البحيرات والمحيطات. لكن ليست كل دورة مائية مؤهلة للقيام بالعمل. يجب أن تكون الدورة الهيدرولوجية مضبوطة لإنتاج مسجلات طبيعية ذات جودة عالية نجدها على سطح الأرض. ينتج القليل من الماء من تآكل الرواسب المودعة. ويترك الكثير من الماء مساحات قليلة جدّاً لطبقات الثلج المستقرة، والأشجار، أو الشعاب المرجانية. تؤدي كلتا الحالتين إلى ظروف أقل ترحيباً للحياة والاكتشاف. وبما أنه من السهل تقدير هذا الفرق بمقارنة كوكب الأرض والكواكب الأخرى، سننتظر لاكتشاف هذا في الفصل الخامس.

التنبؤ بالمستقبل:

أليس من المفاجئ أن يكون بإمكان مثل هذه العمليات على الأرض أن تشفِّر معلومات متاحة ذات جودة عالية كمجرد منتجات ثانوية عَرَضية للتطور الكوني؟ إنه أمر مدهش من منظور **التطور** البيولوجي، هذه المعلومات لم تمنح أي ميزة في الكائنات الحية للبقاء على قيد الحياة عبر الماضي البعيد للأرض. وبعد كل شيء، لم نتمكن من ملاحظة هذا إلا مؤخراً، وما زلنا نعمل على جعل التكنولوجيا المطلوبة أكثر دقة لاسترداد تلك المعلومات وقراءتها.

في الوقت نفسه، كان يمكن لقدرة الأرض على تسجيل البيانات وخصوصاً في عينات الجليد عالية الدقة، تمنح مزايا البقاء على قيد الحياة

لحضارة **متقدمة**[١] وبشكل دقيق فإن هذه القدرة ستساعدنا في الحفاظ على مستوى العيش الحالي للأرض لمدة طويلة حتى المستقبل من خلال تعليمنا إدراك العلاقة الصحيحة بين درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون الجوي. وهذا يتطلب شيئاً للتفسير.

كشفت العينات الجليدية أن التقلبات المناخية الكبيرة يمكن أن تحدث خلال بضع سنوات فقط - إن لم تكن حدثت في الماضي على الأقل - لم تشهد البشرية المتحضرة مثل هذه الأحداث، حدث وينغر درياس، وهو الأخير، منذ حوالي اثني عشر ألف سنة. وكان السبب في تبريد المناخ لدينا لدرجات حرارة الجليدية خلال سنوات قليلة مما عطل بشدة الإنتاج الغذائي العالمي وجعل المدن التي تبعد عن خط الاستواء غير صالح للحياة. تُظْهِرُ سجلات العينات الجليدية في جزيرة غرينلاند الوسطى أن الأحداث مثل وينغر درياس كانت المعيار العادي لمعظم السنوات من الـ ١٠٠,٠٠٠ سنة الماضية، بينما كان الوقت المتعلق بالماضي الإنساني المسجل استثنائيّاً جدّاً[٢]، بتمديد

---

(١) يعتبر مجال علم العواصف القديمة (paleotempestology) - الذي يهتم بدراسة العواصف الشديدة القديمة بتقفي آثارها على رواسب البحيرة والمناطق الساحلية - مثالاً آخر على المسجلات القديمة الذي يمكن أن يعزز البقاء على قيد الحياة مستقبلاً. ومع أن هذا مجال ما زال حديث العهد، هناك أمل في إيجاد ما يكفي من الأعاصير التاريخية والعواصف الشديدة في مسجلات الرواسب لتبين علاقاتها بالمناخ العالمي. ومن هذا ربما يكون من الممكن إعداد توقعات طويلة المدى عن خطر الأعاصير. هناك دراستان حديثتان هما:

J. P. Donnelly et al., "Sedimentary Evidence of Intense Hurricane Strikes from New Jersey," *Geology* 29, no. 7 (2001): 615-618; K. B. Liu and M. L. Fearn, "Reconstruction of Prehistoric Landfall Frequencies of Catastrophic Hurricanes in Northwestern Florida from Lake Sediment Records," *Quaternary Research* 54 (2000): 238-245; A. J. Noren et al., "Millennial Scale Storminess Variability in the Northeastern United States During the Holocene Epoch," *Nature* 419 (2002): 821-824.

(٢) تبيّن سجلات المناخ القديم لنصف المليون سنة الماضية أن أوقات الاستقرار المناخي الأكبر هي «الفترات البَيْجليدية القصوية» القصيرة نسبيّاً؛ كالتي نعيشها حاليّاً (مع أنها طويلة المدى). انظر:

J. P. Helmke et al., "Sediment-Color Record from the Northeast Atlantic Reveals Patterns of Millennial-Scale Climate Variability During the Past 500,000 Years," *Quaternary Research* 57 (2002): 49-57 ÒJ. F. McManus, et al., "A 0.5 Million-Year Record of Millennial-Scale Climate Variability in the North Atlantic," *Science* 283 (1999): 971-974.

وباستخدام الأوتوليث (هياكل عظمية في الأسماك تتعلق بالسمع والتوازن) كبدائل لدرجة الحرارة، تمكنت =

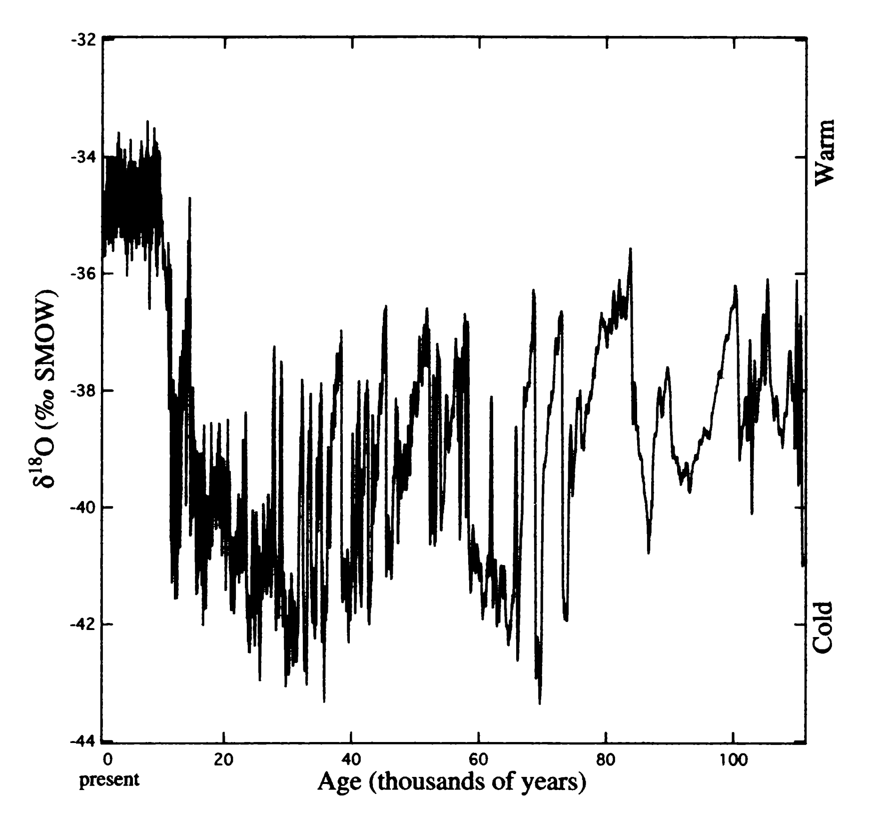
السجل عودة إلى الوراء مع عينات جليدية من القطب الجنوبي أقل تفصيلاً، يبدو أن الفترة الحالية الدافئة هي الأطول عمراً في ٤٢٠,٠٠٠ سنة الماضية. من الواضح أن هناك شيئاً خاصّاً متعلقاً بكوكبنا.

توفر هذه السجلات اختباراً موضوعيّاً لتجارب المحاكاة الحاسوبية، التي يمكن أن تكون غير موضوعية. الآن يمكن لمتخصصي علم المناخ تطوير محاكاة حاسوبية طويلة المدى للمناخ العالمي عن طريق ضبط نماذجها وفق المناخ الحالي واختبارها على بيانات المناخ القديم المستمدة من السجلات الأرضية المتنوعة[١] مع قاعدة البيانات المتنامية هذه، سيستمرون في تحسين قدرتها على التنبؤ بالتّغيرات المناخية المستقبلية. كان يبدو التنبؤ على المدى الطويل حلماً، لكن الأنابيب الممتلئة بالجليد من العينات الجليدية، تحاذياً مع السجلات الأخرى، يمكن أن تقلب يوماً هذا الحلم واقعاً. لا يزال الكثير لنتعلمه عن تغير المناخ، طبعاً. لكن اكتشافاً مفاجئاً واحداً من هذا العمل هو أن ثاني أكسيد الكربون الجوي يمكن أن يساعد في منع التجلد مستقبلاً. تقترح البحوث التي أجراها علماء المناخ **برجي ولوتر** من معهد علم الفلك وعلم الجيوفيزياء في بلجيكا أن التّغيرات في متوسط كمية ضوء الشّمس التي تلقاها نصف الكرة الشمالي مؤخراً تغيرات استثنائية جدّاً[٢]، وقارنوا التّغيرات على المدى القريب (الناجمة عن دورات ميلانكوفيتش)، من خمسة آلاف سنة إلى الوراء نحو ستين ألف سنة في المستقبل، ثم بالرجوع إلى الثلاثة الملايين سنة الماضية.

= الدراسة التالية من تحديد الظروف المناخية قبل مضي حوالي ٦٠٠٠ سنة:
F. T. Andrus, "Otolith 18O Record of Mid-Holocene Sea Surface Temperatures in Peru," *Science* 295 (2002): 1508-1511.
بينوا أن درجات حرارة سطح البحر كانت أكثر دفئاً من ثلاث إلى أربع درجات مئوية، وأن أحداث النينيو كانت أقل حدة آنذاك.

(١) فقد اعتبروا على سبيل المثال عواملَ كتركيز ثاني أكسيد الكربون، وحجم الجليد العالمي، والغلاف الجوي والدوران المحيطي، والتغيرات الشمسية، ودورات ميلانكوفيتش.

(٢) يشيران في دراستهما «التغيرات المناخية المستقبلية: هل سنلج فترة بيجليدية استثنائية طويلة المدى؟
"Future Climatic Changes: Are We Entering an Exceptionally Long Interglacial?" *Climatic Change* 46 (2000): 60 - 90
بقولهما: «إن تغير الإشعاع الشمسي هذا.. استثنائي حقّاً ولم يحدث في الماضي مثله إلا نادراً».



● **الشكل ٢,٦: تغير نسبة نظائر الأوكسجين ـ ١٨ إلى نظائر الأوكسجين ـ ١٦ في جليد غرينلاند قبل ١٠٠,٠٠٠ سنة. تتعلق نسبة الأوكسجين النظير بدرجة الحرارة المحلية. وفقاً لهذه البيانات، تميزت حرارة معظم هذه الفترة الزمنية بتغيرات كبيرة جدّاً وسريعة، وقد تصل عند بعض النقاط إلى ٢٥ درجة مئوية، وأقل برودة من الحاضر. فضلاً عن ذلك، أصبح المناخ دافئاً بشكل مفاجئ ومستقرّاً على مدى ١٢,٠٠٠ سنة الأخيرة.**

ووجد الباحثون أن تغيرات متوسطة كما في الحاضر قد لحقت خمس فترات فقط في الثلاثة الملايين سنة الماضية(١) كما وجد **لوتر وبيرغر** أيضاً

(١) إذا كانت دورات ميلانكوفيتش الفلكية القوة الرئيسية المحركة للعصور الجليدية، فإن هذا قد يعين على تفسير استقرار المناخ الشاذ للهولوسين، قبل اثنتي عشر ألف سنة. لكن ما يحدث أكثر من هذا؛ لأن بيرجر ولوتر تنبآ بتغيرات معتدلة على امتداد ستين ألف سنة في مستقبلنا. بالإضافة إلى ذلك، فإن المجموعة الملاحظة لتغيرات ميلانوفيتش منذ بداية الهولوسين كانت صغيرة بشكل مفاجئ. يبدو تنبؤهما معقولاً، لكن بدا أن هناك ما يجري خارج إدراكهما. وقد فسروا استقرار الهولوسين بالسعة المنخفضة لدورات ميلانكوفيتش من خمسة آلاف سنة مضت إلى ستين ألف سنة في المستقبل، مقارنة بالثلاثة الملايين سنة الماضية أو نحو ذلك. ويبدو أن هذا صدفة غريبة. لكن كيف يمكنك استخدام التغيرات المتوقعة في المستقبل كجزء من تفسير الاستقرار الشاذ للهولوسين حتى الآن؟

الشيء نفسه على امتداد ١٣٠,٠٠٠ سنة في المستقبل، تعتمد بداية التجمد على مستوى ثاني أكسيد الكربون في الجو، مع أن قليلاً من ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى نمو أكثر ظهوراً في الصفائح الجليدية بالنصف الشمالي من الكرة الأرضية(١)؛ لذا لم يكن المناخ دافئاً بشكل مفاجئ فقط، مع درجات حرارة مستقرة إلى حدٍّ ما على طول الإثنتي عشر ألف سنة الأخيرة، لكن يمكننا أن ننعم بالاستقرار على الأقل لبضع عشرات آلاف من السنين في المستقبل. وهذا يضعنا في بداية فترة طويلة دافئة ومستقرة.

قد يندهش القارئ من علمه أن ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكربون يمكنه أن يلقح الكوكب، ويلقحنا ضد التجلد على المدى القريب (طالما أنها ليست عالية جدّاً بطبيعة الحال). حافظت الثورة الصناعية الحديثة بشكل جيد على مستويات ثاني أكسيد الكربون فوق الحد الأدنى، وسوف تستمر في الحفاظ عليه كما تنبأ **لوتر وبيرغر**(٢) ينبغي أن نكون سعداء أن العهد منذ الفترة الجليدية الأخيرة قد استمر لهذه المدة من الزمن. ربما لم تكن قراءة هذا

(١) يبدو أن تركيزاً أقل من ٢٦٠ جزءاً في المليون في الحجم ضروري للتجلد الكبير قبل ٥٠,٠٠٠ سنة من الآن. وهو يقدر حاليّاً بـ٣٧٠ جزءاً في المليون.

(٢) وقد جادل البعض مؤخراً بأن دورة المحيط الأطلسي يمكن أن تتوقف بسبب الحقن السريع للمياه العذبة في شمال الأطلسي جراء تفريغ أعداد كبيرة من الجبال الجليدية عندما ينهار الجليد القطبي خلال فترة الاحترار السريع (كما يتنبأ البعض للقرن المقبل)، مما يعيدنا، على سبيل الفرْض، إلى الظروف الجليدية في وقت قصير (Alley and Bender, "Greenland Ice Cores," 181-184). وهذا عامل لم يدرجه لوتر وبيرجر ضمن نماذجهما، وإذا حدث، فمن المحتمل أننا نستطيع أن ننجو منه بسرعة مع ارتفاع مستوى ثنائي أكسيد الكربون. وفي جميع الأحوال، فإن التأييد بين أوساط علماء المناخ للدورة الحرارية الملحية كمحرك لتيارات المحيط يتراجع أمام الرياح والحركات المدية القمرية بصفتها القوى المحركة الرئيسية (كما أشرنا في الفصل الأول). انظر:

C. Uhlmann et al., "Warming of the Tropical Atlantic Ocean and Slow Down of Thermohaline Circulation During the Last Deglaciation," *Nature* 402 (1999): 511-514.

وحتى في إطار نموذج الدورة الحرارية الملحية، تشير أحدث عمليات محاكاة الدوران الجوي ـ المحيطي إلى أن الإيقاف الحرج لدوران المحيط من الاحتباس الحراري لن يحدث. انظر:

M. Latif et al., "Tropical Stabilization of the Thermohaline Circulation in a Greenhouse Warming Simulation," *Journal of Climate* 13 (2000): 1809-1813; S. Sun and R. Bleck, "Atlantic Thermohaline Circulation and its Response to Increasing CO2 in a Coupled Atmosphere-Ocean Model," *Geophysical Research* Letters 28 (2001): 4223-4226.

الكتاب ممكنة لو أن الفترة الجليدية المقبلة الكبرى بدأت مثلاً، منذ ألف سنة[١] كان مناخ النصف الشمالي من الكرة ليكون شديداً للغاية بالنسبة لأوروبا لتتمكن من سحب نفسها مما يدعى بالعصور المظلمة، وتعطينا من وقت الفراغ ما يكفي لجعل شبكة التطور العلمي والفلسفي والفني التي وضعت الأساس للثورات العلمية والصناعية. وبدون الرجل الصناعي الذي يصب فائض ثاني أكسيد الكربون الجوي عن طريق حرق الوقود الأحفوري، كما شرع في ذلك قبل نحو ١٥٠ عاماً، كان الميل نحو التجلد المتزايد مستمرّاً بلا ضابط، مما جعل التقدم صعباً جدّاً على الحضارة. تعتبر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون نتيجة طبيعية لظهور الحضارة (إذ أن تركيز ثاني أكسيد الكربون مقترن على نحو وثيق بساكنة العالم. كان كوكبنا دائماً تحت تأثير النشاط البشري بشكل محلي، لكن سعينا منذ الهولوسين المبكر قد أوصلنا إلى النقطة التي يمكننا فيها أن نأمل فهم نظام المناخ العالمي، ولعلنا بدأنا نحصل على تأثير كبير[٢] إذا كنا أذكياء، فقابلية قياس بيئتنا يمكن أن يؤدي إلى تحسين

---

(١) وحتى خلال فترة الهولوسين المستقرة نسبيّاً، الحقبة الممتدة منذ يونغر درياس، تقلبت درجات الحرارة بما يكفي لمضايقة الحضارات. ما زالت الأرض تستعيد استقرارها من الموجة الباردة التي استمرت قروناً وانتهت في أوائل القرن التاسع عشر، مع أن ارتفاع ثنائي أكسيد الكربون يجب أن يتأخر في الموجة الباردة المقبلة.

(٢) يجب أن نفسر هذه البيانات بشكل صحيح إذا أردنا أن نتفادى الأخطاء المكلفة والخطيرة. خاصة وأن التأثيرات الفعلية لأنشطتنا يمكن أن تكون أحياناً بديهية؛ فمثلاً، توحي وتشير هذه الأدلة إلى أنه من غير المرجح أن إيقاف النمو الاقتصادي العالمي من أجل تخفيض طفيف في درجة الحرارة العالمية سيجعل الأرض أكثر صلاحية للحياة بشكل عام. وفي الواقع، قد يكون له تأثير معاكس، بجعلها أقل استضافة للحضارات. ونحن نتفق مع بيتر هوبر [*Hard Green: Saving the Environment from the Environmentalists, A Conservative Manifesto* (New York: Basic Books, 1999)] في أن الاقتصاد الصحي يؤدي إلى بيئة صحية. بالإضافة إلى ذلك، هناك حجم ضخم (ومتزايد بشكل سريع) من المواد المنشورة التي تبين فوائد ارتفاع مستويات ثنائي أكسيد الكربون العديدة على المحيط الحيوي والحضارة. تأتي معظم الفوائد من آثار التخصيب الجوي على النباتات والأشجار. للاطلاع على مراجعة لهذا الموضوع، انظر:

C. D. Idso, "Earth's Rising Atmospheric CO2 Concentration: Impacts on the Biosphere," *Energy & Environment* 12 (2001): 287 - 310.

ومن شأن النمو النباتي المتزايد الناتج عن ارتفاع مستويات ثنائي أكسيد الكربون أن يساعد بشكل كبير في إنتاج الأغذية خلال القرن المقبل مع تزايد السكان. كما أن المناخ العام سيكون أكثر ملائمة. =

صلاحية الحياة على المدى القريب من خلال السماح لنا بتكييف سلوكنا مع العمليات الطبيعية للتغير العالمي[1]

= وعلى سبيل المثال، سيطول موسم النمو في خطوط العرض الباردة؛ ويتوقع حدوث الاحترار غالباً في الشتاء والليالي؛ وسينخفض التبخر وهطول الأمطار مما قد يؤدي إلى المزيد من تساقط الأمطار في جميع أنحاء العالم والمزيد من تساقط الثلوج في المناطق القطبية.

وينبغي للزيادة المعتدلة في درجة الحرارة العالمية أن تفيد الحضارة أيضاً. وهذا ليس مجرد حدس لا أساس له. تدعم آثار تقلبات المناخ في الألفية الماضية فكرة أن الفترات الدافئة هي الأفضل للحضارة. بلغت الحقبة القروسطية الدافئة، وتسمى أيضاً بالمناخ الأمثل الصغير، ذروتها ١٢٠٠ قبل الميلاد؛ حيث كانت تصل إلى درجات حرارة أعلى بنصف درجة مئوية من الحاضر. وبعد ذلك شهد العصر الجليدي الصغير أبرد درجات حرارته خلال القرن السابع عشر. هناك الكثير من الأدلة التاريخية القصصية على أن العصر الجليدي الصغير كان أشد قسوة على الشعوب الأوروبية من الحقبة القروسطية الدافئة. للاطلاع على مراجعة تاريخية، انظر:

H. Lamb, *Climate, Change, and the Modern World*, 2nd ed. (London: Routledge, 1995).

وهناك أيضاً أدلة متزايدة أن الحقبة القروسطية الدافئة والعصر الجليدي الصغير كانا ظاهرتين عالميتين. إذا كانت الكوارث المتوقعة المتعددة الناجمة عن درجات حرارة الأكثر دفأً (كتوقف دوران المحيط الأطلسي أو التحرير المفاجئ للميثان من قاع المحيط) لم تحدث بالفعل خلال الحقبة القروسطية الدافئة (أو خلال «الهولوسين الأقصى» الأكثر دفئاً، قبل حوالي خمسة آلاف سنة)، فمن غير المحتمل أن تحدث خلال القرون القادمة.

(١) إن الفكرة القائلة بأننا نجري تجربة خطرة وضخمة على المناخ كثيراً ما تتكرر في الأدب النُبوئي المناصر لحماية البيئة. وكان التعليق «إن الإنسان، من خلال حضارته الصناعية المنتشرة عبر العالم، يجري بشكل عفوي تجربة جيوفيزيائية واسعة «التعبير الأول عن هذا الرأي. المقتبس من:

R. Revelle, W. Broecker, H. Craig, C. D. Keeling, and J. Smagorinsky, "Restoring the Quality of Our Environment," *Report of the Environmental Pollution Panel, President's Science Advisory Committee* (Washington, D.C.: The White House, 1965), 126.

والأشخاص الذين يتمسكون بهذا الرأي لم يتصوروا أبداً أن بإمكان أنشطة المجتمع الصناعي أن تفيد النظم الإيكولوجية في العالم.

الفصل الثالث

النظر نحو الأسفل

تلعب الصّفائح التّكتونية ثلاثة أدوار حاسمة على الأقل في الحفاظ على الحياة الحيوانية: فهي تعزّز الإنتاجية البيولوجية؛ وتعزّز التّنوع (التّحوّط ضدّ الانقراض الجماعي)؛ وتساعد في الحفاظ على درجات حرارة متّزنة كمتطلّب ضروري للحياة الحيوانية. حتى أنّها قد تكون شرطاً مركزياً للحياة على كوكب معيّن، وضرورياً للحفاظ على تزوّد العالم بالماء.

- بيتر د. وارد ودونالد براونلي[1]

الهزات:

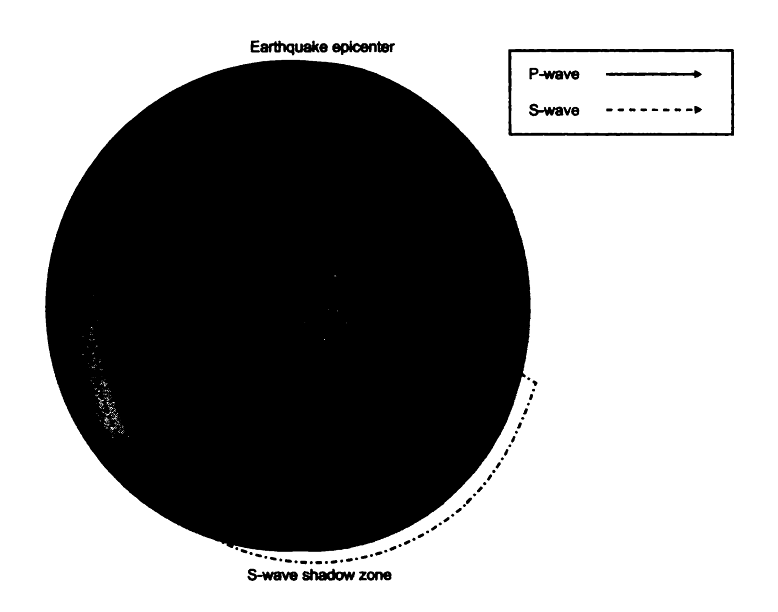
عندما بدأنا في كتابة هذا الفصل، في ٢٨ شباط/ فبراير ٢٠٠١م بالضّبط، مرّت بنا أقوى هزّة أرضية في سياتل في العقود الخمسة الماضية. كنا نتواجد في المباني العالية التي هُزّت بشكل مخيف كأشجار في مهبّ الرّيح. شاهد صديق لنا في مقهى يقع في طابق أرضي الأرضيةَ الصّلبة وهي تتهاوى كالماء الرّقراق؛ فجأة، أصبحت صلابتها وكأنها مجرد وهم. ومع أنه كان بالإمكان الإحساس به على بعد سولت لايك سيتي في الجنوب، وفانكوفر شمالاً، إلا أن المركز السطحي للزلزال كان يقع على عمق ثلاثين ميلاً. ومع أنه كان زلزالاً قوياً ورهيباً (بقوة ٦,٨ درجة على سلم ريختر) إلا أنه تسبب في أضرار طفيفةً نسبياً.

تدمّر الزلازل الممتلكات وتقتل أعداداً كبيرة من النّاس كل سنة. ومع

---

(١) Brownlee and Ward, *Rare Earth* (New York: Copernicus, 2000), 220.

ذلك فهي تعود بالفائدة على صلاحية الحياة والاكتشافات العلمية في كوكبنا. لولا الزّلازل لما كنّا على الأرجح هنا، ولو قُدّر بشكل ما أننا كنا هنا، لكانت معرفتنا بالبنية الدّاخلية للأرض أقلّ بكثير(١) تولّد الهزّة الأرضية موجات تنتشر في الأرض الصّلبة في جميع الاتجاهات فتعبر قطرها بكامله، مثل مطرقةٍ تضرب جرساً. يمكن لجهاز قياس زلازل راسٍ على الأرض أن يلتقط تلك الموجات سواء الصّادرة عن الهزّات المحلية القوية أو البعيدة أو الضّعيفة. تترك الاختلافات في الكثافة آثارها على مسارات الموجة، والتي تحمل بعد ذلك المعلومات المتعلّقة بباطن ذلك الجزء من الأرض.



● **الشكل ٣,١: يظهر المقطع العرضي للأرض بنيتها الدّاخلية المستمدّة من دراسة موجات P وS المتولّدة عن الزّلازل. ويظهر هذا الشّكل زلزالاً افتراضياً وموجات P وS التي تنتشر على إثره عبر الرّداء، النّواة الخارجية ثم النّواة الدّاخلية. تستخدم أجهزة رصد الزّلازل، التي يتمّ توزيعها في القارات على نطاق واسع في جميع أنحاء الأرض، للكشف عن الأمواج. لاحظ أن موجات P فقط يمكنها اجتياز النّواة الخارجية السّائلة.**

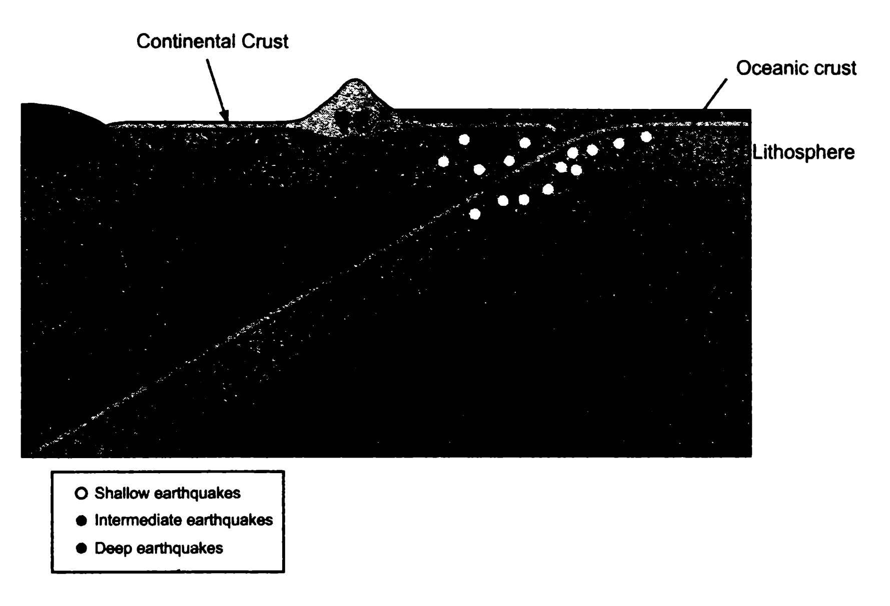
(١) إن الغياب التام للزلازل لن يمنعنا من معرفة شيء عن الباطن العميق للأرض؛ فمثلاً، استخدمت الموجات الزلزالية الناتجة عن التجارب النووية التي أجريت تحت الأرض لقياس عمق النواة الداخلية. وبطبيعة الحال، فإن القيود الصارمة المفروضة على وضع التفجيرات النووية تحت الأرض وعددها منعتها من منافسة الهزات الأرضية الطبيعية كمسابير لباطن الأرض.

على سبيل المثال، تَعْطف الانقطاعات الحادّة الموجاتِ بشكل مفاجئ، مثل انحناء الضّوء عند مروره من الهواء إلى عدسة. يمكن لخصائص الموجة أن تكشف ما إذا كانت أيٌّ من المناطق المجتازة سائلاً[1] لكنّ الرّؤية الحقيقية تأتي من جمع رسوم أجهزة قياس الزّلازل المنتشرة في سطح الأرض. يمكن لعلماء الجيوفيزياء ـ من خلال الآلاف من الزّلازل التي قيست بواسطة آلاف من أجهزة قياس الزّلازل على مدى العقود العديدة الماضية ـ «عكس» قاعدة بيانات واسعة لإنتاج خريطة ثلاثية الأبعاد لبنية باطن الأرض. تشبه التّقنية التي تسمّى بالتّصوير المقطعي ثلاثي الأبعاد، الأشعّة المقطعية الجيولوجية. تساعد الهزّات الأرضية أيضاً علماء الجيوفيزياء على سبر البنيات الصّغيرة والكبيرة؛ كالصفيحة المحيطية المطمورة (subducted) تحت الصفيحة القارية. عند انزلاق صفحتين من القشرة الأرضية على بعضها البعض، تنقبض الصّفائح المضادّة فينشأ بينها ضغط، تقوم بتخفيفه هزّة مفاجئة مولِّدةً هزات أرضية. حدث آخر زلزال عميق بالقرب من سياتل داخل الصّفيحة المحيطية خوان دي فوكا، التي طُمرت تحت الصّفيحة الأمريكية الشّمالية.

بفضل قياس مثل هذه الهزات الأرضية العميقة على مدى عقود، تمكن علماءٌ من تطوير صور مناطق الطمر ثلاثية الأبعاد حول الكرة الأرضية. وقد أدركوا أن الهزات الأرضية العميقة تحدث في مناطق الطمر فقط. تتعقب الهزات أيضاً الجبلال في أعماق منتصف المحيط؛ حيث تتشكل قشرة لينة ككريمة ساخنة على كعكة جافة. تحدد المناطق والتلال المنتشرة معاً حدود الصفائح (والمزيد حول الموضوع بالأسفل). لو توفرت لنا نصف دزينة من محطات قياس الهزات الموزعة بشكل جيد، لكان لا يزال بإمكاننا وضع خريطة للحدود الصفائح الرئيسية لكوكب الارض.

---

(١) يمكن لجهاز قياس الزلازل أن يسجل أطوال نوعي الموجات التي تعبر باطن الأرض وزمن وصولها: الموجات الانضغاطية (أو الطولية) والموجات القَصِّيَّة (أو المستعرضة). والموجات الانضغاطية هي أساساً موجات صوتية. لا يمكن أن تنتشر الموجات القَصِّيَّة في الأوساط المائعة. وبالتالي، فإن التوقيت النسبي للموجات الانضغاطية والقَصِّيَّة ووجودها أو غيابها على محطة معينة لقياس الزلازل تفيد الجيولوجيين جداً بخصوص تغيرات الكثافة.



● **الشكل ٣,٢: ظاهرة طمر الصّفيحة المحيطية تحت الصّفيحة القارية كما تكشف عنها الهزّات الأرضية (تقع في هذه الحالة بالقرب من خندق اليابان). تتعقّب الهزّات الأرضية الشّكل الثّلاثي الأبعاد لليتوسفير الغارق (الجزء الصّلب من الطّبقة الخارجية للأرض، والتي تشمل القشرة)؛ الأستينوسفير هو جزء من الرداء العلوي قابل للتشوه بسهولة. كما هو ممثل أعلاه، تظهر الهزات الأرضية نمطاً واضحاً في زيادة العمق كلما ابتعدنا عن الخندق، متجهين نحو الصفيحة القارية.**

اليوم، تتوزّع أجهزة رصد الزّلازل على نسق واحد تقريباً في جميع أنحاء سطح الأرض. وهو ما كان ليكون مستحيلاً في وقت سابق من تاريخ الأرض. قبل حوالي مائتي مليون سنة، قامت قارّة عملاقة واحدة فقط، تدعى البانجيا (Pangaea) باختراق سطح محيط كوكب مائي غير متوازن. أصبحت بانجيا منذ ذلك الحين مقسّمة كبزل انتشرت أطرافه بانتظام على سطح الأرض.

لرسم خريطة نوى كوكبنا السّائلة الخارجية والصّلبة الدّاخلية، يلزم أن تقع أجهزة رصد الزلازل تقريباً على الطّرف النّقيض لمركز الهزّة الأرضية. ومِثْلها مثل القارّات، تتوزّع الهزّات الأرضية على نطاق واسع على الأرض الحالية، وتَحدث في الغالب على طول حدود الصّفائح. وهكذا تمكّننا القارّات والهزّات الأرضية الموزّعة حول الأرض، من سبْر بنيتها الدّاخلية.

من حسن حظّ العلم أنّ الهزّات الأرضية تضرب بنفس المكان مرّتين

بخلاف البرق. إذا أمكن لعلماء الجيوفيزياء قياس الموجات الزّلزالية لهذا النّوع المتكرّر من الهزّات في محطّات تقابل تقريباً موضع القياس - أي: في الجانب المقابل للأرض - سيكون باستطاعتهم كشف أسرار النّواة الدّاخلية. فمثلاً، على مدى ثلاثة عقود، قام الباحثون في محطة رصد الزّلازل في ألاسكا بقياس زمن وصول الموجات النّاتجة عن الهزّات الأرضية بجزيرة ساندويتش الجنوبية[١] وبما أنّ الموجات تصل على فترات مختلفة بعد وقوع الهزّة، استنتج الباحثون أنّ النّواة الصّلبة تدور أسرع قليلاً من باقي أجزاء الأرض.

المغناطيسية الكوكبية:

في القرن التّاسع عشر، اكتشف علماء الفيزياء أنّ دوران لفائف الأسلاك داخل مجموعة من المغانط يولّد تيّاراً كهربائيّاً في السّلك. اليوم، نستخدم عملية توليد الكهرباء هذه لتحويل الطّاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. تتشكّل المكوّنات الأساسية لمولّد كهربائي من وسط موصل وحقلٍ مغناطيسي وحركة. من خلال دراسة الهزّات الأرضية وغيرها من الأحداث، يعلم علماء الجيوفيزياء أنّ النّواة الخارجية للأرض تتكوّن من حديد سائل ساخن جدّاً، قد يتجاوز ٣٠٠٠ درجة مئوية. تؤدّي الحرارة المتدفّقة عبر النّواة الخارجية السّائلة للأرض هذه الأخيرة لنقل الحرارة؛ كالذي يتصاعد بعد ظهر يوم حارٍّ منتجاً سحباً ركامية. تلعب النّواة الخارجية دور مولّد كهربائي لأنّها موصلة للكهرباء، ولكنّ المولّد المغناطيسي للأرض، يتطلّب أكثر من مجرد مجموعة متنوّعة من

---

(١) P. G. Richards, "Earth's Inner Core-Discoveries and Conjectures," *Astronomy & Geophysics* 41:1 (2000): 20-24.

للاطلاع على الوضع الحالي للنقاش حول هذا الموضوع، انظر:

X. Song, "Comment on 'The Existence of an Inner Core Super-Rotation Questioned by Teleseismic Doublets,'" *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 124 (2001): 269-273; G. Poupinet and A. Souriau, "Reply to Xiadong Song's Comment on 'The Existence of an Inner Core Super-Rotation Questioned by Teleseismic Doublets,'" *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 124 (2001). 275-279.

حتى لو فشل الادعاء القائل بالدوران الفائق للنواة في نهاية المطاف، فإن فائدة هذه التجربة من حيث وضع قيود صارمة عليه قد سبق إثباتها.

صنع الإنسان. في المولّد الكهربائي، تتوفر المغانط على حقول دائمة، لكن المولّد الأرضي (geodynamo) يجب أن يجدّد حقله المغناطيسي، وإلّا تلاشى بعد بضع مئات من السّنين. يتطلّب مثل هذا المولّد الكوكبي المكتفي ذاتيّاً، من بين أمور أخرى، الدّوران الذي يوفّره كوكب يتحرّك بسرعة كافية لإنتاج دوّامات في النّواة الخارجية(١).

يستخدم علماء الجيوفيزياء الحقل المغناطيسي للكوكب لإعادة بناء التّاريخ الجيولوجي للأرض. كما لاحظنا في الفصل السابق، يَصُفُّ الحقل المغناطيسي للأرض المعادنَ المغناطيسية في شكل حبوب عند نزولها لتُشكّل رواسب بحرية متروكة. هذه ليست العملية الوحيدة التي بإمكانها تسجيل الحقل المغناطيسي للأرض. عندما تبرد الحمم البازلتية تحت نقطة كوري ـ وهي درجة الحرارة التي تفقد عندها الصّخور مغناطيسيّتها ـ فإنّها «تتجمّد» في الحقل المغناطيسي للأرض. تبقى مثل هذه المغناطيسية الأحفورية أو المغناطيسية القديمة، محفوظة في صخرة ما دامت درجة حرارتها لا تتجاوز نقطة كوري. نحن نعلم الآن من دراسات تمّت على تدفقات الحمم المؤرخة على الأرض أن الحقل المغناطيسي للكوكب غيَّر من قطبيته عدة مرات في الماضي. ليست

(١) وبالإضافة إلى ذلك، كانت هناك حاجة إلى حقل مغناطيسي أصلي لانطلاقه، وربما من الشمس. تشير النماذج النظرية إلى أن النواة الداخلية الصلبة للأرض بدأت في التشكل قبل مليار سنة تقريباً، مما يجعلها أصغر بملياري سنة على الأقل من الحقل المغناطيسي الأرضي. لذلك لا يبدو أن النواة الداخلية الصلبة ضرورية، لكنها تنتج على الأرجح حقلاً أقوى وأكثر استقراراً. انظر:

P. H. Roberts and G. A. Glatzmaier, "Geodynamo Theory and Simulations," *Reviews of Modern Physics* 72, no. 4 (2000): 1081-1123.

تم تفسير الارتفاع الحاد في قوة الحقل المغناطيسي الذي حدث قبل ٢,٧ مليار سنة، كما يتضح من الأدلة المغناطيسية القديمة، على أنه بداية تنوّي (nucleation) النواة الداخلية الصلبة، لكن يلزم توفر المزيد من البيانات للتيقن؛ انظر:

C. J. Hale, "Paleomagnetic Data Suggest Link Between the Archean-Proterozoic Boundary and Inner-Core Nucleation," *Nature* 329 (1987): 233-237.

فقط عندما تعتمد أشكال النواة الداخلية في كوكب أرضي تركيز العناصر المشعة هناك. كلما كان التركيز مرتفعاً، تشكلت في زمن مبكر؛ انظر:

S. Labrosse, et al., "The Age of the Inner Core," *Earth and Planetary Science Letters* 190 (2001): 111-123.

التقلبات المغناطيسية دورية تماماً، لكنها تحدث تقريباً كل مليون سنة[1] حدث آخر تقلّب قبل ٧٨٠,٠٠٠ سنة. ولأنها أحداث عالمية، فهي تعتبر بمثابة علامات عالمية بالنسبة للجيولوجيين لموافقة طبقات الصخور المنفصلة.



● **الشكل ٣,٣: قياس الأقطاب المغناطيسية الأرضية المتقلبة في شمال شرق المحيط الهادئ بواسطة مَغنيطومتر (جهاز لقياس الحقل المغناطيسي) تجره سفينة للأبحاث. تمّ تمثيل اتجاه الحقل المغناطيسي في الوقت الحالي بالأسود، والاتجاه المعاكس بالأبيض. تستعمل هذه الأنساق المغناطيسية لإعادة بناء تاريخ مفصل لامتداد قاع البحر. تظهر مواقع التلال الممتدة كالعيوب في الشكل. لعب هذا الشكل (نشرت لأول مرة في عام ١٩٦١م) دوراً مهمّاً جدّاً في الاعتمّاد النهائي لنظرية الصفائح التكتونية.**

في أواخر الخمسينات، بدأ علماء المحيطات بِقَطْر أجهزة تسمّى المَغنيطومترات وراء سفن البحث لتعيين خرائط الحقول المغناطيسية القديمة

(١) ومع ذلك فإن بعض «أحداث» تغير القطبية تستمر لأقل من خمسين ألف سنة. انظر:
Lowrie, *Fundamentals of Geophysics*, 295-306.

للصّخور المكوّنة لقاع المحيط. كان الغرض من المُسوح الأولى البحث عن المميّزات المغناطيسية غير الاعتيادية المرتبطة بالبنيات الضّخمة كالبراكين. لكنّ الخرائط النّاتجة كشفت عن نسق ملحوظ وغير متوقّع للتّقلبات القطبية المغناطيسية التي تقع بشكل مواز ومتماثل على جانبي جبال منتصف المحيط[١]

نفهم الآن أنّ هذه الأشرطة المغناطيسية تنتج عن تقلّبات الحقل المغناطيسي للأرض أوج تشكّل القشرة الليّنة لقاع البحر وامتدادها على جانبي سلسلة من التّلال. في الواقع، يعمل قاع المحيط كمسجّل شريطي مغناطيسي ضخم. كلّ ما تحتاجه لقراءته سفينة تتوفّر على مَغنيطومتر (انظر: الصفيحة ٦).

ولكنّ الوصول لهذه البيانات لا ينبغي أن يكون أمراً مفروغاً منه لمجرّد أنّها سهلة القراءة. كما يلاحظ الجيوفيزيائي **ديفيد ساندويل**، «في الواقع، تعتمد القدرة على مراقبة التّقلّبات المغناطيسية بواسطة مَغنيطومتر مقطور خلف سفينة على بعض الصّدف التي لا تصدّق والتي تتعلّق بمعدل التّقلّب ومعدّل الامتداد ومدى عمق المحيط ودرجات حرارة الأرض»[٢] يمضي **ساندويل** لوصف كيفية تضافر هذه المقاييس الأربعة لإنتاج حقول قابلة للقياس في سطح المحيط:

> تمّ تسجيل معظم هذا الحقل المغناطيسي على ارتفاع ميل أو اثنين من القشرة المحيطية. لو كان سمك هذه الطّبقة كبيراً جدّاً؛ حيث تصبح الصّفيحة باردة كلّما انتقلت من محور القشرة الممتدّة، فإن التّقلّبات الإيجابية والسّلبية تصبح متحاذية في الطّبقات المنغمسة؛ يمكن لهذا التّراكب أن يشوّه النّمط الملاحظ من قبل سفينة. على الأرض، تكون درجات الحرارة مناسبة لإنشاء طبقة ممغنطة رقيقة[٣]

---

(١) المصدر الأول للبحوث التي أدت إلى اكتشاف الحقل المغناطيسي المتبقي في قاع البحر، هو:
R. Mason, "Stripes on the Sea Floor," in *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*, N. Oreskes, ed. (Westview Press: Boulder, 2001), 31-45.

(٢) David Sandwell, "Plate Tectonics: A Martian View," in *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*, N. Oreskes, ed. (Westview Press: Boulder, 2001), 342.

(٣) Sandwell, *Plate Tectonics*, 343.

تبدو تغيّرات المجال المتبقّية في قاع البحر مخفّفة وسلسة إذا قيست عن بعد. ولكي تبقى الإشارة قويّة على سطح المحيط، يجب أن يكون تباعد التّقلّبات المغناطيسية نموذجيّاً؛ أي: حوالي ٦,٣ أضعاف عمق المحيط. يجب أن يكون الجدولان النّهائيان مضبوطين على النّحو التالي:

تتغيّر معدّلات نصف الامتداد على الأرض من ٦ إلى ٥٠ ميل (١٠ ـ ٨٠ كم) كلّ مليون سنة. وهذا يوحي بأنّ المميّزات المغناطيسية غير الاعتيادية هي الأكثر وضوحاً على سطح المحيط، يجب أن يكون معدل التّقلب بين ٢,٥ و٠,٣ مليون سنة. ومن المدهش أن يكون هذا هو معدّل التقلّب النّموذجي الملاحظ في متتاليات تدفّق الحمم البركانية على الأرض. هذا التّقارب المحظوظ للطّول والجداول الزمنية يجعل إمكانية عدم ملاحظة تلك المميّزات على كوكب آخر بسبب امتداد القشرة، أمراً مستبعداً جدّاً[١]

هذا التّقارب النّادِر «محظوظ» لأنّه يخلق تقريباً البيئة المثلى للوصول إلى البيانات المغناطيسية المحفورة في قاع المحيط انطلاقاً من سطحه.

Bar code

Magnetic reversals

Tree rings

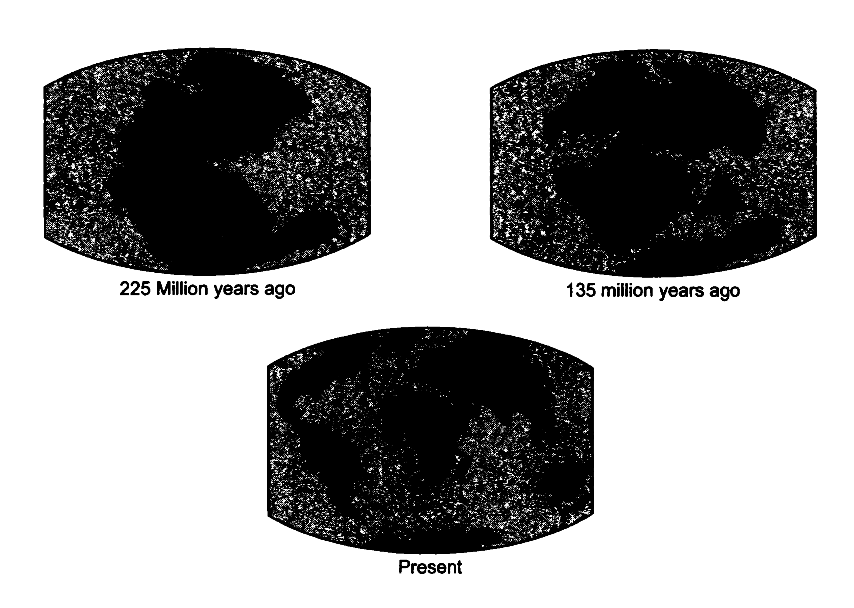
● الشكل ٣,٤: تنقل الأنماط اللّادورية معلومات أكثر من التي توفرها الأنماط المنتظمة أو التّكرارية. ينقل تفاوت سمك الأعمدة في الشّفرة العمودية رسالة للمسؤولين على فكّها. يوجد هذا النّوع من المعلومات أيضاً في الطبيعة، كما هو الحال في حلقات الأشجار وتقلّبات القطبية المغناطيسية الأرضية.

(١) المرجع نفسه.

يمكن للجيولوجيّين عندئذٍ مقارنة هذه البيانات مع البيانات التي تمّ جمعها من عيّنات الصّخور المغناطيسية المحفوظة من تدفّقات الحمم البركانية القديمة. تكشف كميات بعض النّظائر المشعّة المعمّرة عن عمر العيّنة. ويكشف التّوجه المكاني لحقل العيّنة المغناطيسي المكتسب أو المتبقّي عن حالة الحقل المغناطيسي الأرضي المحلّي عند تصلّبه، تاركاً وراءه سجِلّاً تاريخيّاً مفصّلاً. بمقارنة الآثار المغناطيسية لقاع البحر وتدفّقات الحمم البركانية حول العالم، يمكن للجيولوجيّين إعادة بناء تاريخ مفصّل لقاع البحر الممتدّ في الفضاء والزّمن[١]؛ إذ إنّ أنماط التّلال الموزّعة حول العالم متشابهة. إذا كان الحقل ثابتاً وغير متغيّر، فإنّه سيكون أقلّ فائدة بكثير. حتى إنّ النّمط الدّوري يمكن أن يكون أقلّ فائدة من النّمط الحالي، ذلك أنّ كل دورة تصلّب مغناطيسي ستبدو مثل الدّورات الأخرى. ممّا يجعل موافقة نمط مغناطيسي على قاع البحر بالنّمط المؤرّخ على اليابسة أمراً مستحيلاً، لكن الدّورة نصف المتكررة تعرض نمطاً خاصّاً لا لبس فيه، مثل بصمات الأصابع. لهذا السّبب نفسه، يمكن للعلماء الجمع بين أنماط نمو حلقات الأشجار المختلفة، التي تتداخل أعمارها جزئيّاً فقط، في سلسلة طويلة واحدة. إنّ الحقل المغناطيسي للأرض غني على نحو مفاجئ بالمعلومات. تعتبر البوصلة بالنسبة لمعظمنا المذكّر الوحيد بأنّ للأرض حقلاً مغناطيسيّاً. تخلق البوصلات المسطّحة وهْمَ أنّ الحقل المغناطيسي الأرضي ثنائي الأبعاد؛ لأن الإبرة محصورة في مستوى مسطّح وهمي كمؤشّر على خريطة الطّريق أو لعبة لوحية. مكّنت هذه الصّورة البسيطة من تنقّل البشر على سطح الأرض منذ اختراع البوصلة على يد الصّينيين قبل ألفي سنة على الأقل. (ومع ذلك، فهي أداة غير دقيقة؛ لأنها تشير إلى الشّمال المغناطيسي لا الشّمال الجغرافي. ونتيجة لذلك، يجب أن يستخدم الملّاحون الرّسوم البيانية لتمييز الفرق بين

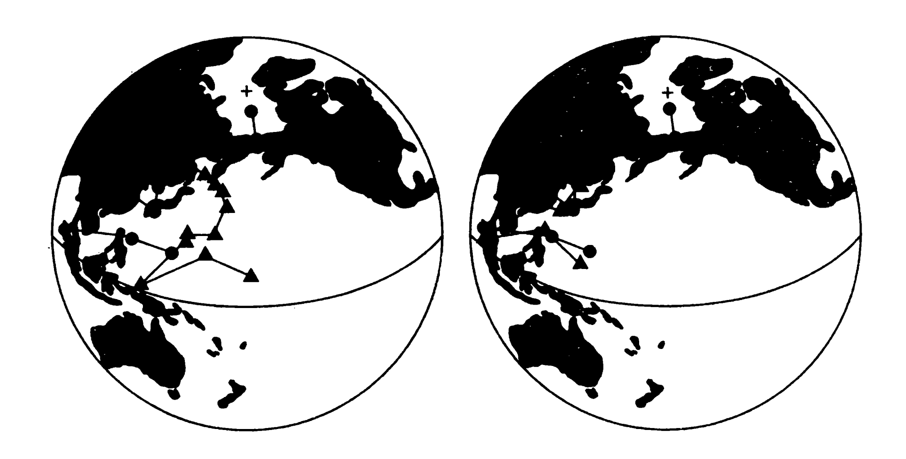
(١) تحد الدقة المثالية لتأريخ عينات الحمم البركانية بالأرجون ـ البوتاسيوم تأريخ تسلسلات القطبية المغناطيسية إلى أقل من خمسة ملايين سنة. تم تأريخ التسلسلات القديمة بواسطة دورات ميلانكوفيتش أو الأمارات المستحاثية لتحديد العمر.

القطبين، أو الانحراف للإبقاء على المسار الصّحيح). لكنّ الحقل المغناطيسي الأرضي يمكن أن يحرّك إبرة البوصلة في ثلاثة أبعاد، وهو ما اكتشفه رجل الدّين الألماني **جورج هارتمان** (Georg Hartmann) لأوّل مرّة سنة ١٥٤٤م. إذا قمت بوضع البوصلة على جانبها بحيث يمكن للإبرة أن تتحرّك عموديّاً، فإنها ستتّخذ زاوية، تسمّى زاوية الانحراف، العمودية على المستوى الأفقي المألوف والذي نحدّد عليه اتّجاهات الشّمال والجنوب والشّرق والغرب.



● **الشكل ٣,٥: الزّحْف القارّي (Continental drift) من القارّة العملاقة بانجيا حتى الوقت الحاضر. تستند إعادة بناء المواقع النّسبية للقارات في المقام الأول إلى القياسات من المغناطيسية الأحفورية في الصّخور البازلتية. يُعد الحقل المغناطيسي للأرض بمثابة نظام عالمي لتحديد المواقع.**

تحتفظ عيّنات الصّخور من جميع القارات بالمغنطة المتبقّية ثلاثية الأبعاد. والمزيد من الأبعاد يعني مزيداً من المعلومات. ومع مزيد من الجهد، تكشف هذه العيّنات عن مواقع القارّات المنفصلة حاليّاً ما يصل إلى بضع مئات ملايين من السّنين في الماضي. تعمل سجلّات الصّخور هذه كمستقبلات لنظام تحديد المواقع العالمي (GPS)؛ يعمل الحقل المغناطيسي الأرضي بمثابة شبكة للأقمار الصّناعية لتحديد نظام مطلق للإحداثيات.



● **الشكل ٣,٦: مسارات الحيود القطبي الظّاهري (APW) للقارّات الأمريكية الشّمالية (الدّوائر) والأوروبية (المثلّثات) المتداخلة في العالم الحديث. يقوم الجيولوجيون بقياس روتيني لانحراف وميل قيم المغنطة المتبقّية لعيّنات الصّخور من جميع القارّات. بما أنّ زاوية الميل تتغيّر ببساطة وفق خطّ العرض المغناطيسي، فإنّه من السّهل نسبيّاً تحديد المسافة إلى القطب المغناطيسي عند تشكّل عيّنة. تتيح إضافة عيّنة الانحراف تحديد موقع القطب المغناطيسي في ذلك الوقت. يمكنهم أيضاً إعداد مسار (APW) من مواقع القطب المغناطيسي القديم المستمدّة من عيّنات الحمم البركانية من مختلف الأعمار في موضع معين. وبمقارنة مسارات الحيود القطبي من العيّنات التي تمّ جمعها من قارات مختلفة، يمكن للجيولوجيين إعادة بناء حركاتها على مدى فترات طويلة من الزّمن. تكشف هذه المؤامرات عن المواقع الماضية للقارات التي تعود إلى بضع مئات من ملايين السنين في الماضي. تمّ تحديد مسارات (APW) الممثّلة في هذا الشّكل من المغناطيسية الأحفورية في الصّخور المعروفة أعمارها بدقّة. إذا تمّ تدوير مسار (APW) الأوروبي ٣٨ درجة في اتجاه عقارب السّاعة (كما يرى من القطب الشّمالي)، فإنّ المسارين يصبحان متداخلين. وهذا يعني: أن القارّتين كانت تتحرّكان معاً على مدى الفترة الزّمنية التي تتناولها البيانات (ما قبل ١٥٠ إلى ٥٠٠ مليون سنة).**

بخلاف أجهزة الاستقبال التي صنعها الإنسان، ومع ذلك، يحفظ التنوع الطبيعي البيانات الجيولوجية حول الماضي السحيق. وهذا هو الدليل الذي أقنع أخيراً المشككين في نظرية تكتونية الصفائح. كان عالم الأرصاد الجوية الألماني **ألفريد فيجنر** أول من اقترح أحد العناصر الرئيسية لنظرية تكتونية الصفائح، الزّحْف القاري، في العشرينات من القرن العشرين. تمّ احتساب نظريته عن القارات المتحركة لصالح تركيب الخطوط العريضة لقطع لغز بعض القارات والصخور المتماثلة التي وجدت على الأراضي المنفصلة حاليّاً. رفض علماء عصره من الجيوفيزيائيين ممن كانوا متشبثين بالنظرية الجيوسينكلاينية

(geosynclinal theory)، نظرية **فيجنر**[1] (ارتبطت نظرية الجيوسينكلاين بفكرة أن الأرض كانت مسؤولة على انقباض وتشويه القشرة. وأن الأحواض تمتلئ بالرواسب من القارات، مواصِلة الانخِساف subsidence). ومع ذلك ففي ستينات القرن الماضي، قدمتِ القياسات المغناطيسية لقاع البحر واليابسة أدلة مقنعة على الزّحْف القاري وامتداد قاع البحر وعلى نظرية التكتونية بشكل عام[2] يُعد رفض النظرية الجيوسينكلاينية القديمة لصالح نظرية تكتونية الصفائح أحد أكبر التحولات النوعية في العلم؛ حيث كانت قابلية قياس الأرض ذات انطلاقة حيوية[3] عزّز الحقل المغناطيسي للأرض من مقدار فهمنا لديناميتها الداخلية، كما قدمت التقلبات المغناطيسية دلائل واضحة ومبهرة على آليتها الكامنة.

لم نفهم تماماً بعد ما محرك التقلبات المغناطيسية، ولكنه ليس أمراً يخص الأرض وحدها، فالشّمس مثلاً، تتوفر أيضاً على حقل مغناطيسي كما أنها تعرف تقلبات مغناطيسية في قطبيتها كل اثنتين وعشرين سنة في المتوسط؛ أي: بما يعادل ضعف طول دورة البقع الشّمسية ذات الإحدى عشرة سنة. حتى أن الحقل المغناطيسي الأرضي يخبرنا أكثر من أي وقت مضى عن الحالة المتغيرة للحقل المغناطيسي الشّمسي. تحمل الرياح الشّمسية المجال الشّمسي من بين الكواكب. ولهذا السبب وأسباب أخرى، يتغير هذا الحقل المغناطيسي البيكوكبي باستمرار، متفاعلاً مع الحقل المغناطيسي الأرضي، مسبباً ذبذبات

(١) للاطلاع على مقدمة تاريخية لهذه النظرية القديمة، انظر:
N. Oreskes, "From Continental Drift to Plate Tectonics," in *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*, N. Oreskes, ed. (Westview Press: Boulder, 2001), 3-27.

(٢) هذه مقدمة لهذا الموضوع بالنسبة للمحيط الأطلسي:
J. G. Sclater and C. Tapscott, "The History of the Atlantic," *Scientific American* (June 1979): 156-174.

(٣) حتى عام ١٩٦٠م، كانت كتب الجيولوجيا لا تزال على يقين من نظرية الجيوسينكلاين. فعلى سبيل المثال يكتب كلارك (Clark) وستيرن (Stearn) في كتابهما المدرسي، «إن نظرية الجيوسينكلاين هي إحدى المبادئ المُوحِّدة الكبرى في الجيولوجيا. يشبه دورها في الجيولوجيا دور نظرية التطور من عدة أوجه، حيث يعمل على توحيد الفروع المتعددة للعلوم البيولوجية. . وكما أن مذهب التطور مقبول عالميّاً بين علماء الأحياء، فكذلك فالنسبة للأصل الجيوسيكلينالي لسلاسل الجبل الرئيسية».
T. H. Clark and C. W. Stearn, *The Geological Evolution of North America* (New York: Ronald Press, 1960), 43.

طفيفة وسريعة. من خلال رصد هذه الذبذبات اليومية[1] من المحطات المغناطيسية الأرضية منذ أوائل القرن العشرين، اكتشف الجيوفيزيائيون أنها تتغير وفق دورة البقعة الشّمسية. بدأ علماء الفيزياء الفضائية الآن بفهم كيفية تأثير الحقل المغناطيسي للشمس على الحقل المغناطيسي البيكوكبي، الذي يمكن استخدامه للتنبؤ بدورة البقع الشّمسية من خمس إلى ست سنوات مقدماً[2] وهذا بدوره، يساعد الناسا على تقدير السّحب الجوي (atmospheric drag) من الأقمار الصناعية التي تحلق على علو منخفض. يمكن هذا السّحب من تحديد أعمار هذه الأقمار. خلال المستوى الأقصى للبقع الشّمسية، تصبح المنطقة الخارجية للغلاف الجوي الأرضي أكثر انتفاخاً، مما يزيد قوة السّحب.

كان التعاون بين علماء الفلك والجيوفيزياء أكثر إثماراً؛ حيث سمح لهم بقياس الزّحْف القاري في الوقت الحقيقي. يمكن للتلسكوبات اللاسلكية المنفصلة على نطاق واسع والموجهة بنفس المسافة نحو الكوازار (quasar) الثابت ـ وهو جسم مضيء جدّاً يقع بالقرب من حافة الكون المرصود ـ أن تلتقط تغيرات المسافات بين القارات، التي تصل إلى واحد سنتيمتر في السنة[3] يستخدم الفلكيون الملاحظات اللاسلكية لعدة كوازارات على مدى عدة سنوات، بواسطة التلسكوبات اللاسلكية الواقعة في مختلف القارات

---

(١) يتم قياس دورات البقع الشمسية بواسطة مؤشرات "Ap"و "aa"يمكن إيجاد وصف لهذه المؤشرات المغناطيسية الأرضية في:

P. N. Mayaud, "The aa Indices: A 100-Year Series Characterizing the Magnetic Activity," *Journal of Geophysical Research* 77 (1972): 6870-6874.

(٢) بصفة خاصة، ترتبط قيم المؤشرات aa و Ap في الحد الأدنى للبقع الشمسية ارتباطاً وثيقاً بقوة الحد الأقصى الناتج للبقع الشمسية، مما يجعلها متنبئات مفيدة لدورة معينة للبقع الشمسية

G. Gonzalez and K. Schatten, "Using Geomagnetic Indices to Forecast the Next Sunspot Maximum," *Solar Physics* 114 (1987): 189Ù192.

(٣) تسمى تقنية الجمع بين البيانات من التليسكوبات الراديوية المتباعدة على نطاق واسع والموجهة نحو نفس الهدف الفلكي بقياس التداخل المديد القاعدة (VLBI: very long baseline interferometry).

للمراجعة، انظر:

O. J. Sovers, J. L. Fanselow, and C. S. Jacobs, "Astrometry and Geodesy with Radio Interferometry: Experiments, Models, and Results," *Reviews of Modern Physics* 70 (1998): 1393-1454.

لتحديد حركاتها النسبية. ولأن حركاتها في درب التبانة يمكن أن تطغى على البصمة الضعيفة للانجراف القاري فإن هذه التجربة ليست ممكنة مع وجود النجوم القريبة. في هذه الحالة، يمكّننا وصولنا إلى الكون البعيد من معرفة بيئتنا المحلية. (سنتعرف أكثر عن الصفات المفيدة للكوازارات في الفصل التاسع).

ما علاقة كل هذا بصلاحية الحياة؟

يربط معظمنا الهزات الأرضية بالموت والدمار. لكن المفارقة المثيرة أن الهزات الأرضية نتيجة حتمية للقوى الجيولوجية المفيدة جدّاً للحياة[١] تعد الحرارة التي تتدفق إلى الخارج من باطن الأرض المحرك الذي يشغِّل الحمل الحراري في الوشاح، وبالتالي، حدوث حركات القشرة الأرضية. تبني القشرة النشيطة تكتونيا الجبال، وتنطمر تحت قاع البحر القديم، كما تقوم بتدوير ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وهذا كله يجعل الأرض أكثر صلاحية للحياة، لكن ليس من الواضح أن تكون قطعة باردة، وجامدة، وعائمة من القشرة مطمرة في عمق الأرض. يمكن أن يفسر التواجد المستمر للماء السائل على سطح الأرض سبب محافظتها على تكتونية الصفائح لفترة طويلة[٢] يبدو أن التفاعلات الكيميائية للماء بالمعادن

(١) نقول: «أنه من المفارقات المثيرة»؛ لأن الهزات الأرضية يمكن أن تسبب الموت والدمار، وقد يبدو هذا مناقضاً لعلاقة الهزات بالحياة. يجب أن نشير هنا إلى أن القدرة على كشف الهزات الأرضية وقياسها يتيح للحضارات المتقدمة فرصة تفادي هذه الأخطار. تقع العديد من المراكز السكانية الكبيرة بالقرب من حدود الصفائح؛ حيث تشيع الهزات الأرضية، لكن ليس من الضروري أن تكون بهذه الطريقة. نحن نعرف الآن أين يحتمل أن تحدث الزلازل القوية بدرجة عالية من الثقة نسبياً. وهي لا تحدث إلا عشوائيّاً، مع أننا ما زلنا لا نستطيع التنبؤ بتوقيتها. وقد حسنت القوانين المطورة من إمكانية البقاء على قيد الحياة في المباني التي تقع في المناطق المتأثرة بالهزات بالنسبة للذين يختارون البقاء هناك. يمكننا إقصاء الوفيات الزلازل بفعالية إذا اخترنا القيام بذلك.

(٢) انظر:

Z. Mian, "Understanding Why Earth Is a Planet with Plate Tectonics," *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 34 (1993): 441-448; K. Regenauer-Lieb, D. A. Yuen, and J. Branlund, "The Initiation of Subduction: Criticality by Addition of Water?" *Science* 294 (2001): 578-580.

الموجودة في القشرة أضعفتها، مشكّلة التزليق (lubrication) الذي يتيح للقشرة الالتواء دون الانكسار.

دورة الكربون:

كما اقترحنا سابقاً، فإن هذا يعني أكثر من مجرد صداع الرأس وتكاليف تأمين باهضة بالنسبة للأشخاص الذين يعيشون بالقرب من خطوط الصدع الرئيسية. تجعل الصفائح التكتونية دورة الكربون ممكنة، وهو أمر ضروري لصلاحية الحياة على كوكبنا. تتكوّن هذه الدورة في حقيقة الأمر من عدد من الدّورات الفرعية العضوية وغير العضوية، تحدث كلها على فترات زمنية مختلفة[١] تنظم هذه الدّورات تبادل الجزيئات التي تحتوي على الكربون بين الغلاف الجوي، والمحيطات، والأرض. يتميز التمثيل الضوئي، سواء في النباتات البرية أو العوالق النباتية التي تقع قرب سطح المحيط، بأهمية خاصة، ذلك أن آثاره الخالصة تقوم بسحب ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، وصنع المادة العضوية. تستهلك العوالق الحيوانية، شأنها في ذلك شأن المنخربات العوالقية المذكورة في الفصل الثاني، الكثير من المواد العضوية المنتجة على السطح الغني بضوء الشّمس. تستقر كربونات وسيليكات الهياكل العظمية للكائنات البحرية بعناية على قاع المحيط، لتُأخذ بعيداً تحت القارات في نهاية المطاف.

ومن الأمور المركزية لدورة الكربون التجوية الكيميائية لصخور السيليكا على القارات[٢] وهذا يحدث عندما تذيب مياه الأمطار التي تصبح حمضية

---

(١) إن دورة الكربون أعقد من أن نستطيع التطرق إليها هنا بالتفصيل. للاطلاع على مراجعة عامة عن دورة الكربون وتفاعلها مع المناخ، انظر:

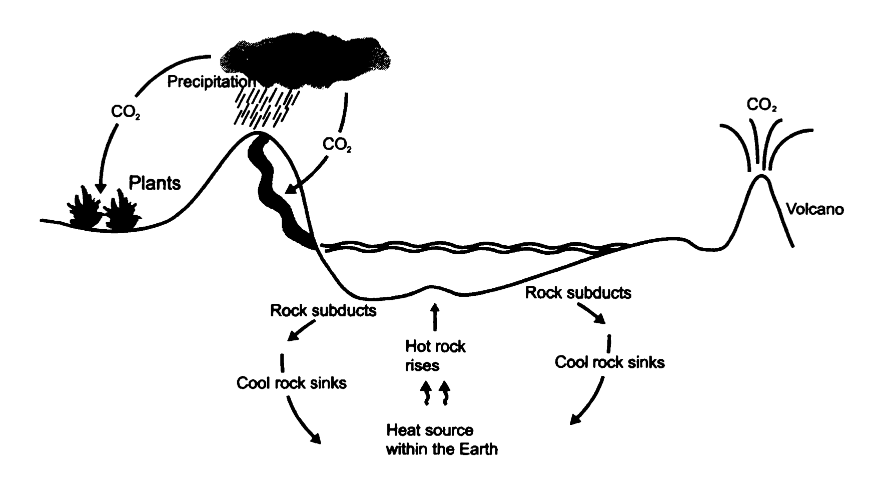
R. Kump, J. F. Kasting, and R. G. Crane, *The Earth System* (New Jersey: Prentice Hall, 1999), 128-151.

للاطلاع على تقرير موجز صدر مؤخراً عن تكنولوجيا نمذجة دور ثنائي أكسيد الكربون في المناخ القديم للأرض، انظر:

T. J. Thomas and R. A. Berner, "CO2 and Climate Change," *Science* 292 (2001): 870-872.

(٢) J. C. G. Walker, P. Hays, and J. F. Kasting, "A Negative Feedback Mechanism for the Long-Term Stabilization of Earth's Surface Temperature," *Journal of Geophysical Research* 86 (1981): 9776-9782.

بفعل ثاني أكسيد الكربون المذاب من الغلاف الجوي معادنَ الصخور المكشوفة. ثم تحمل الأنهار السيليكا الذائبة (S_iO_2)، والكالسيوم،



● **الشكل ٣،٧: تعمل تكتونية الصفائح ودورات الكربون والماء معاً لإنتاج كوكب مضيف للحياة. تشق حرارة باطن الأرض طريقها إلى السطح، مسببة حركة في الرداء. تبني الدينامية الداخلية الجبال وتبعث ثاني أكسيد الكربون في الجو من خلال البراكين. يتبخر الماء إلى غيوم بفعل الطاقة الشّمسية، والتي تتكاثف لتعيد الماء و CO_2 للنباتات، والتربة، والمحيطات. بتحوله إلى أشكال كيميائية أخرى، يجد الكربون الموجود أصلاً في الغلاف الجوي، طريقاً له إلى قاع البحر. ثم يتمّ طمر القشرة المحيطية الغنية بالكربون تحت الرداء، وفي النهاية يتمّ تسخينه ليعود إلى السطح كـCO_2 تبقي هذه العملية المواد الغذائية، المياه، والأراضي متاحة للحياة، كما أنها تضبط درجة الحرارة العالمية على المقاييس الزمنية لملايين من السنين.**

وأيونات البيكربونات (المشتقة من ثاني أكسيد الكربون) إلى المحيطات. فتزيل العوالق النباتية والحيوانية ـ والمرجان والمحار إلى حدٍّ ما ـ هذه المواد الكيميائية المذابة من المحيط لبناء هياكلها العظمية المتوفرة على سيليكات وكربونات الكالسيوم. تنتهي دورة الكربون عندما تكون الكربونات المطمورة تحت الضغط في أعماق القشرة الأرضية، باعثة ثاني أكسيد الكربون الذي يجد طريقه في النهاية إلى السطح عن طريق البراكين والينابيع.

تحافظ الحلقات الاسترجاعية السلبية (negative feedback loops) على توازن الدورة الكاملة. ربما تكون الحلقة الأكثر أهمية والمحققة للاستقرار هي تعلق معدل التجوية الكيميائية بدرجة الحرارة. وهذه كيفية عملها: لنفترض أن

فترات طويلة من الانفجارات البركانية الكبيرة زادت بسرعة من كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. فحسب ظاهرة الاحتباس الحراري، يؤدي تصاعد ثاني أكسيد الكربون إلى رفع درجة الحرارة العالمية. فتُسَرِّع درجة الحرارة العالية ومستوى ثاني أكسيد الكربون عملية التجوية الكيميائية، وبالتالي يتمّ إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. وبالتالي يعود ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة إلى مستوياتهما قبل الطفوح. وعكسيّاً، فإن انخفاضاً في ثاني أكسيد الكربون من شأنه أن يبطئ التجوية الكيميائية، مما يسمح بتراكمه في الغلاف الجوي. وفي كلتي الحالتين، تشكل الحلقة دائرة كاملة.

يرفع تزايد ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي نمو النبات كما سنناقش في الفصل الرابع. تتفكّك الصّخور التي تتخلّلها النباتات كيميائيّاً أسرع بخمس مرات من الصخور العارية (bare rocks)، مما يسمح للأرض بحشر ثاني أكسيد الكربون بعيداً تحت سطحها بسرعة أكبر. بعبارة أخرى، تدعِّم هذه التجوية السريعة الحلقة الاسترجاعية المحققة للاستقرار، مما يتيح للنظام المناخي للأرض استجابة أكثر فعالية للاضطرابات من عالم لا حياة فيه. وهكذا تجعل تكتونية الصفائح والحياة النباتية معاً الكوكب أكثر رعاية لجميع أنواع الحياة.

القارات:

تحتاج دورة الكربون أو التّنوع الكوكبي على الأقل، إلى كلّ من القارات والمحيطات. تعمل القارات بمثابة وعاء لدمج المعادن والمياه على السّطح؛ حيث تتواجد أشعّة الشّمس الغنية بالطّاقة. بدأت القارّات بالظّهور بعد مليار سنة من تشكّل الأرض. تقوم القشرة والقارات أثناء نموها بنقل البوتاسيوم والثوريوم واليورانيوم المستخرج من الوشاح، وبما أن هذه النّظائر المشعّة كانت المصادر الأولية للحرارة في باطن الأرض طوال تاريخها تقريباً، فإن عملية امتصاصها من الوشاح الحامل للحرارة تُضْعف النّشاط التّكتوني. لو

نمت القشرة والقارات بسرعة أكبر، لَسَحبت المزيد من العناصر المولّدة للحرارة من الوشاح، وكان يمكن لهذا أن يُبطِئ الحمل الحراري في الوشاح والنّشاط التّكتوني في زمن متأخر، فينتج استجابة مناخية ضعيفة. تلعب الصّفائح التكتونية دوراً ضروريّاً آخر للحياة: أنّها تحافظ على اليابسة من التّآكل المستمر. يُفضّل أن يكون الكوكب الصخري الكبير بحجم الأرض مستديراً تماماً، لكن التّآكل الذي يحتُّ الجبال والقارّات يشكّل «عالماً مائيّاً» حقيقيّاً. وينبغي أن يدعم باطنه الطّاقة باستمرار؛ لئلّا يصبح ككرة بولينج ملساء. وبدون التّدوير الجيولوجي (geological recycling) قد يصبح هذا المكان قفراً؛ لأنه سيفتقر إلى طريقة لدمج جميع العناصر الغذائية الضّرورية للحياة في مياهه السّطحية المشبعة بأشعة الشّمس(١)

الحقول المغناطيسية:

ومن المرجّح أيضاً أن يتوفّر كوكب أرضي ذو صفائح تكتونية على حقل مغناطيسي قوي؛ لأن كلاهما يعتمدان على التقلّب الحراري لباطنه. يساهم الحقل المغناطيسي بشدة في صلاحية الحياة على كوكب معين من خلال إنشاء تجويف يسمى بالغلاف المغناطيسي، الذي يحمي الغلاف الجوي للكوكب من التفاعل المباشر مع الرياح الشّمسية. إذا كان من

---

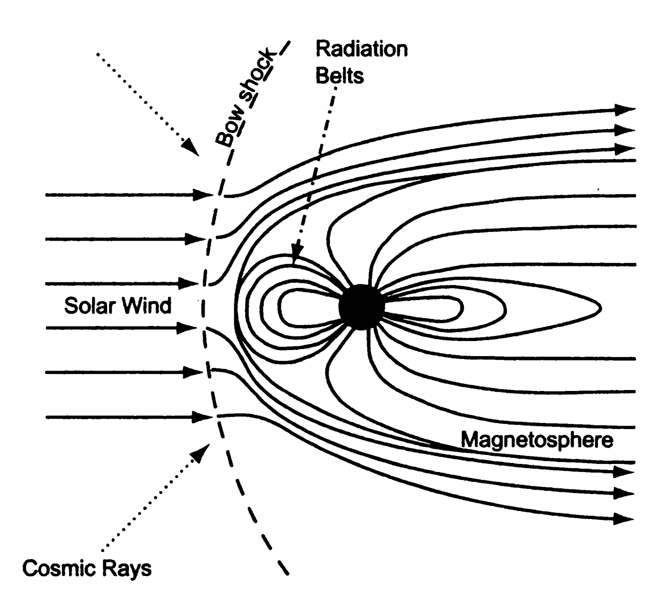
(١) تتوقف الإنتاجية البيولوجية في محيطات الأرض بشكل أساسي على توافر بعض المغذيات الرئيسية، خاصة الفوسفور والحديد. تنساب معظم المغذيات اللازمة عبر الأنهار فتنصَبُّ في المحيطات. لكن هذا (أيضاً) لا يكفي لجميع مناطق المحيطات على ما يبدو. وقد فاجأت التجربة الأوقيانوغرافية البسيطة التي أجريت عام ١٩٩٥ الكثيرين. (انظر:

K. H. Coale et al., "A Massive Phytoplankton Bloom Induced by an Ecosystem-Scale Iron Fertilization Experiment in the Equatorial Pacific Ocean," *Nature* 383 (1996): 495-501).

كانت كميات صغيرة من الحديد القابل للذوبان في الماء منتشرة في رقعة صغيرة من شرق المحيط الهادئ المعروف بإنتاجيته البيولوجية المنخفضة. وسرعان ما ارتفعت تجمعات العوالق النباتية والعوالق الحيوانية. يبدو أن الحديد هو العنصر الرئيسي الذي يقلل المغذيات في هذه المياه. وبسبب أنماط الرياح العالمية، تتلقى بعض مناطق المحيطات ـ والمنطقة الشرقية الاستوائية للمحيط الهادئ إحداها ـ كمية قليلة جدّاً من الغبار من القارات. يتخذ الحديد والغبار شكلاً يمكن للحيَوِيّات استعماله. يمكن أن يفتقر كوكب بدون قارات إلى كل من الأنهار والغبار كمصدرين للحديد.

المفترض لجزيئات الرياح الشّمسية ـ المكونة من البروتونات والإلكترونات ـ أن تتفاعل مباشرة مع الغلاف الجوي العلوي للأرض، فإنها ستكون أكثر فعالية بكثير في «نفْثِه» أو إزالته (خصوصاً ذرات الهيدروجين والأوكسجين من الماء). يمكن أن يكون هذا خبراً سيئاً للحياة؛ لأن الماء سيضيع بسرعة أكبر ذاهباً في الفضاء.

تماماً كما تستخدم «ستار تريك إنتربرايز» مجال قوة لحمايته من طوربيدات الفوتون الواردة، يعمل الحقل المغناطيسي للأرض كالخط التالي للدفاع ضد جسيمات الأشعة الكونية المجرّية، بعد أن يشتت الحقل المغناطيسي الشّمسي والرياح الشّمسية، الأشعة الكونية ذات الطاقة المنخفضة. تتكوّن جزيئات الأشعة الكونية هذه من بروتونات عالية الطاقة ونوى أخرى، تعمل مع جسيمات تحت ذرية تسمى الميزونات، لكي تتفاعل مع نوى في غلافنا الجوي. يمكن لهذه الجزيئات الثانوية أن تمر عبر أجسامنا، مما يسبب أضراراً إشعاعية مفتتاً النوى في خلايانا.



● الشكل ٣,٨: مثل المغناطيس العملاق، تعمل جيولوجيا الأرض لخلق «درع» مغناطيسي يحمي الغلاف الجوي للأرض من جزيئات الرياح الشّمسية وجسيمات الأشعة الكونية ذات الطاقة المنخفضة.

الكتلة والحجم الكوكبي:

ومما لا يقل أهمية، كتلة الكوكب[1] تعتمد صلاحية الحياة في الكوكب على كتلته من عدّة أوجه؛ فمن الرّاجح أنّ الكواكب الأرضية الأصغر بكثير من الأرض أو الأكبر منها أقلّ صلاحية للحياة. يمكن أن يفقد توأم الأرض الأقل ضخامة غلافه الجوي بسرعة لأنّ جاذبية سطحه أضعف، وبسبب نسبة مساحة سطحه الكبيرة بالنّسبة إلى حجمه، وقد يبرد باطنه أكثر من اللّازم لتوليد حقل مغناطيسي قوي. تميل الكواكب الأقل حجماً لأن تتوفّر على مدارات غير منتظمة على نحو خطير.

في المقابل، يمكن أن يكون لتوأم الأرض الأكبر ضخامة مخزون أوّلي أكبر من المياه[2] وموادّ أخرى متطايرة؛ كالميثان وثاني أكسيد الكربون، وسيفقد منها بشكل أقلّ، مع مرور الوقت. كوكب كهذا سيشبه أكثر المشتري الكوكب الغازي العملاق بدلاً من كوكبنا الأرض. في الواقع، ربّما يكون حجم الأرض تقريباً أكبر حجم يمكن أن يتّخذه كوكب أرضي قابل للسكنى. ورغم حاجة الحياة إلى غلاف جوي، فأن يكون زائداً عن اللّزوم قد يكون أمراً سيئاً. يمكن أن يبطئ ارتفاع ضغط السّطح مثلاً، تبخّر الماء وتجفيف باطن القارات. ويمكن أيضاً أن يزيد لزوجة الهواء على السّطح، ممّا يجعل إمكانية تنفّس المخلوقات المتنقّلة ذوات الأدمغة الكبيرة مثلنا أمراً صعباً.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن قدراً أكبر من جاذبية السّطح يمكن أن يحدث تضاريس أقلّ على السّطح، مع الجبال الصغيرة والبحار الضّحلة. لا يمكن

---

(١) M. H. Hart, "The Effect of a Planet's Size on the Evolution of Its Atmosphere," *Southwest Regional Conference on Astronomy & Astrophysics* 7 (1982): 111-126; G. Gonzalez, D. Brownlee, and P. D. Ward, "The Galactic Habitable Zone: Galactic Chemical Evolution," *Icarus* 152 (2001): 185-200.

(٢) ومع أنّنا لا نعلم حتّى الآن متى أو من أين استمدّت الأرض معظم مائها، هناك أسباب عدّة لنشوء توأم الأرض بمحيطات عميقة؛ **أولاً**: يمكن أن يجمّع جزءاً كبيراً من المياه من اصطدامات الكويكبات والمذنبات؛ لأن جزءاً صغيراً من القذائف يُفقد في الفضاء. **ثانياً**: يمكن أن يدفع عامل التركيز البؤري التجاذبي المرتفع الكويكبات والمذنبات لإحداث اصطدامات أكثر مما تشير إليه الحسابات الهندسية. **ثالثاً**: وكما هو مذكور في النص، سيكون سطح كوكب أرضي أكبر حجماً، قليلَ التضاريس.

للصّخور أن تدعم الجبال العالية كتلك التي نتمتّع بها(١) حتى مع خضخضة تكتونية أكثر نشاطاً. وسيبدو الكوكب على الأرجح مغطى بالمحيطات المالحة جداً والتي يفتقد سطحها إلى المعادن بما لا يمكنها من دعم الحياة. حتى أن **كيفن كوستنر**؛ والذي مثّل دور بحار منعزل، سيجد عالم الماء هذا غير لائق. ولزيادة الطين بلة، فجاذبية سطح الكوكب الأرضي تزداد مع الكتلة بسرعة أكبر مما قد يتبادر إلى الأذهان(٢) تقوم الضّغوط المكثّفة بِدَكّ المادّة بعمق إلى الدّاخل(٣)، بحيث يصبح كوكب يقدّر حجمه ضعف حجم الأرض فقط حوالي أربع عشرة مرة كتلته و٣,٥ مرّة جاذبية سطحه(٤) قد ينتج الضّغط العالي من كوكبنا أكثر اختلافاً؛ ستميل الغازات مثل بخار الماء والميثان وثاني أكسيد الكربون إلى التّواجد في الغلاف الجوي. من أسباب حفظ كوكب الأرض على بقاء اليابسة على مرّ تاريخه الطويل؛ أن بعضاً من مائها قد عُزل في الوشاح؛ في المقابل، فإنّ كوكباً أكثر ضخامة من الأرض قد يكون على الأرجح منزوع الغازات أكثر من الأرض.

ربما لا تزال متلهفاً لبعض المغامرة على كوكب أرضي عملاق مستوحى من الخيال العلمي، لكن هناك مشكلة أخرى مع الكواكب الكبيرة وهي تهديدات الارتطام(٥) بصياغة أكثر بساطة، إنها بمثابة أهداف كبيرة.

---

(١) للاطلاع على مناقشة بخصوص فيزياء مرتفعات الجبال وغيرها من مسائل الفيزياء المهمة، انظر: V. F. Weisskopf, "Of Atoms, Mountains, and Stars: A Study in Qualitative Physics," *Science* 187 (1975): 605-612.

(٢) علاقة القياس ذات الصلة هنا، هي حقيقة أن كتلة كرة من مادة غير مضغوطة تزداد مع القطر مرفوعاً إلى مكعبه.

(٣) تتبع الكواكب الأرضية الصغيرة علاقات القياس غير المضغوطة إلى حدٍّ ما، لكنها تبدأ في الانحراف بشكل ملحوظ قبل أن تصبح كبيرة بحجم الأرض. تقدر الكثافة المتوسطة للأرض بـ٥,٥٢ غرام في السنتيمتر المكعب. تقدر الكثافة المتوسطة للمريخ الذي يبلغ حجمه نصف حجم الأرض، ٣,٩٣ غرام في السنتيمتر المكعب.

(٤) J. S. Lewis, *Worlds Without End: the Exploration of Planets Known and Unknown* (Reading: Helix Books, 1998), 64-66.

وإذا تجاهلنا الضغط، فإننا سنتوقع أن يكون مثل هذا الكوكب أضخم بثمانية أضعاف فقط، مع جاذبية سطحية مضاعفة.

(٥) إذا كان الكوكب الأرضي أكبر فإن مقطع التصادم سيكون كبيراً بالنسبة للكويكبات والمذنبات. يزداد =

يصعب على الكويكبات والمذنبات تفادي الكواكب الكبيرة، ولهذا فإن هذه الكواكب تعاني عادة من الاصطدامات عالية السرعة. مع أن المساحة الكبيرة التي تتسم بها أسطحها تساعد في توزيع الطاقة ذات التأثير الأكبر على مجال أوسع، فإن هذا لا يعوض الطاقة التدميرية الهائلة؛ لأن مساحة السطح تزداد ببطء مع الكتلة بالنسبة للكواكب الأرضية الأكبر حجماً من الأرض[(١)].

لن يكون من المحتمل فقط أن تكون كل من الكواكب الأرضية الأصغر والأكبر حجماً من الأرض أقل ملاءمةً للحياة؛ بل ستوفر كذلك منصات إجمالية ضعيفة من أجل الاستكشاف. مع أن الكواكب الصغيرة تتوفر على جبال أطول، مما يمكن رؤية النجوم بشكل أفضل، ستحظى بعدد قليل من الهزات الأرضية مما سيؤخر الاكتشاف في مجال الجيوفيزياء. من ناحية أخرى، توفر الكواكب الصغيرة منصات أقل فاعلية بالنسبة لملاحظات راديو VLBI (خط الأساس الطويل للتداخل) ـ التي تتطلب تلسكوبات بعيدة في قارات مختلفة ـ و«درجات دنيوية أصغر على السلم البعيد» التي سنناقشها لاحقاً. قد تكون الحركة التكتونية لكوكب أكبر حجماً من الأرض أكثر نشاطاً، ويتوفر على جبال أصغر حجماً وغلاف جوي أكثر سمكاً، من شأنه أن يعيق علم الفلك. على الأرض، لا يشكل الغلاف الجوي مشكلة مستعصية. يمكن للمراصد الجبلية المجهزة ببصريات كبيرة، مثل تلسكوبات كيك في ماونا كيا أو المقراب الضخم في أمريكا الجنوبية، أن تحقق حلّاً مكانيّاً يحاكي الذي

= مقطع التصادم مع تزايد كتلة الكوكب لسببين. **أولاً**: الحجم المادي الأكبر للكوكب. **ثانياً**: ارتفاع التركيز البؤري التجاذبي بالنسبة للكواكب الضخمة بغض النظر عن أحجامها.

(١) وهذا راجع إلى تأثيرات الضغط الذاتي. ينبغي أن نضيف أن الأنظمة التي تستطيع أن تشكل كواكب عملاقة مماثلة للأرض يمكن أن تشكل أيضاً كواكب أرضية أخرى صغرى.
(G. W. Wetherill, "The Formation and Habitability of Extra-Solar Planets," *Icarus* 119 (1996): 219-238).
ولذلك، فإن المشاكل المذكورة أعلاه بالنسبة لكوكب أرضي كبير جدّاً في نظام معين لن تمنعه من التوفر على كوكب أرضي في مجال الكتلة المطلوب (لكن هناك مشاكل أخرى تتعلق بنظام يشكل كواكب ضخمة ـ سنتحدث أكثر عن هذا في الفصل الخامس). وبطبيعة الحال، لا يمكن أن نقول نفس الشيء عن النظام الذي لا يشكل إلا الكواكب الأرضية الصغيرة.

يمتاز به تلسكوب هابل الفضائي[1] يمكن أن يتعرف العلماء ـ من منازلهم على سطح الأرض ـ على باطن الأرض والنجوم البعيدة، بشكل أكثر فعالية من المراقبين على كواكب أخرى بأحجام مختلفة تماماً.

الحياة التكنولوجية:

لكي نحظى بتكنولوجيا متقدمة، نحتاج إلى أشكال معقّدة للحياة بما فيه الكفاية لتطويرها. تلك هي الحياة التكنولوجية. الآن، تتطلب الحياة التكنولوجية مجموعة ضيقة من الشروط، أضيق من الشروط التي تتطلبها الحياة المعقّدة، وأضيق بكثير من شروط الحياة البسيطة. ولكن يتبين أن الحياة والتكنولوجيا يرتبطان ارتباطاً وثيقاً؛ حيث إن العديد من العوامل الجيولوجية المهمة للحياة المعقّدة تجعل التكنولوجيا العالية أمراً ممكناً ـ تلك التكنولوجيا التي توسع معرفتنا للكون. في الواقع، تتوقف المعرفة التفصيلية التي تمّت مناقشتها في هذا الفصل، كلها تقريباً على التكنولوجيا المتقدمة.

يمكننا أن نقول: إن نوعاً تكنولوجيّاً إذا أمكنه، على أقل تقدير، التخطيط مسبقاً بعدة سنوات للسيطرة، وتشكيل العناصر الأساسية من النار[2] كمصدر رئيسي للطاقة. وتغيير بيئته بما يعزز بقاءه وازدهاره، قد يكون التحكم بالنار أحد أهم شروط التكنولوجيا[3] في وقت سابق، كانت تستعمل النار

---

(١) تحقق التلسكوبات البصرية الأرضية هذه الدقة العالية من خلال التعويض الجزئي لتشوهات صور الأجسام الفلكية التي يسببها الغلاف الجوي للأرض. تعمل هذه الأنواع من التصحيحات بشكل أفضل بالنسبة للمراصد التي تقع على ارتفاعات عالية.

(٢) النار ليست تفاعلاً خاصّاً ناشراً للحرارة. فهي تحرر كمية كبيرة من الحرارة بطريقة بطيئة وغير متفجرة، مما يجعلها ذا فائدة في مجموعة واسعة ومتنوعة من التطبيقات التكنولوجية. انظر:
Michael Denton, *Nature's Destiny* (New York: The Free Press, 1998), 122-123.

(٣) بالطبع، إذ يمكن تشكيل بعض مواد البناء دون أدوات معدنية. على سبيل المثال، يمكن تشكيل الخشب بواسطة الفؤوس الحجرية، لكن العديد من خيارات البناء متوفرة مع أدوات عصر الحديد البرونز. يحتاج إلى النار أيضاً لتشغيل محرك بخاري وإعداد السيراميك والطوب دائم. يمكن القول: إن المحرك البخاري والمولد الكهربائي كانا أهم الشروط المبدئية للانتقال من التكنولوجيا الأساسية إلى التكنولوجيا العالية، وكلتاهما تتطلبان القدرة على تشكيل الحديد.

لصنع الفخار وسبك خامات المعادن[1]

وفي الآونة الأخيرة، مكّنت النار لبني جنسنا الحفاظ على عدد كبير من السكان اللازمين لتطوير تكنولوجيا عالية، الأمر الذي يتطلب أن يكون كثير من الأفراد أحراراً في تركيز اهتمامهم على مسائل لا تتعلق مباشرة بالبقاء على قيد الحياة. إن الأنواع التي تقوم بتشكيل المعادن لتكوين الأدوات اللازمة لبناء السدود الكبيرة والجسور وناطحات السحاب ستكون ـ من هذا الجانب ـ تكنولوجية. بيد أن الذي يقضي وقته في صيد الحيوانات البرية وجمع الفواكه البرية، لا يستطيع أن يكون كذلك.

يمكن لبعض البيئات أن تمنع التطور التكنولوجي تماماً. لا يمكن لحيوان مائي يدج في عالم الماء أو في «عوامات» **كارل ساجان** العملاقة وينجرف كقماش الشّمس عبر الغلاف الجوي للمشتري أن يطور تكنولوجيا عالية؛ لأن وجود النار سيكون مستحيلاً كما ستكون الدوائر الكهربائية غير عملية[2] ولا بد أن تكون للكواكب الأرضية الأكثر ملاءمة فترات مستمرة من

---

(١) كان يبدو تعلُّم البشر فيما مضى، لكيفية تنقية المعادن من الخامات أمراً مفاجئاً. قبل حوالي سبعة آلاف سنة، تعلّم النّاس في الشّرق الأوسط كيفية سبْك النّحاس من خام الأزوريت (azurite) والمالاكيت (malachite) الملوَّن. ومن المرجّح أن الخزّافون الأوائل اكتشفوا سبْك النّحاس عن طريق الصدفة عندما جربوا مساحيق الأزوريت والمالاكيت لاستخدامها؛ كأصباغ في أفرانهم التي تعمل بالوقود والأوكسجين. وقد تبيَّن أن هذه هي البيئة اللازمة لإزالة ذرات الأوكسجين من أكاسيد النحاس في المصدر الخام لإنتاج معدن النحاس النقي. بعد ذلك بوقت قصير، طور السبّاكون الأوائل مهاراتهم في إزالة الشوائب بإضافة «مادّة صَهُور (flux)» وهي معدن آخر يساهم كيميائيّاً في تجميع الشوائب على شكل خبث تسهل إزالته لاحقاً. كان الهيماتيت، وهو أكسيد من الحديد، الصَّهُور الأكثر شيوعاً في الشرق الأوسط لصهر النحاس. وقد مكّنت نفسُ الظروفِ التي سمحت بتنقية خامِّ النحاس البشرَ من إنتاج معدن الحديد من مادة الهيماتيت. وربما هذه هي الطريقة التي اكتُشِف بها صهْر الحديد. انظر:
Stephen Sass, *The Substance of Civilization: Material and Human History from the Stone Age to the Age of Silicon* (New York: Arcane Publishing, 1998).
هل هذه مصادفات تاريخية فضولية في طريقها إلى التكنولوجيا العالية؟ هل كان هذا مساراً تصادفيّاً استثنائيّاً إلى تصنيع المعادن؟

(٢) تم اقتراح هاتين البيئتين كموائل ممكنة للحياة. ولا يحتمل أن تدعم إحداهن الحياة. ففي عالم مائي حقيقي، سيكون من الصّعب جدّاً إحضار المغذِّيات إلى السّطح حيث يُحتاج أن تكون. على الأرض، تشقّ المغذِّيات طريقها من القارّات إلى المحيطات عبر الدّلتا والأنهار. إذا لم يكن المحيط أعمق من محيط الأرض، فإن بعض الميثانوجينات (مولّدات الميثان) قد تبقى على قيد الحياة في أعراف منتصف =

مناخ مستقر بما يكفي للحفاظ على الزراعة على نطاق واسع، وهو أمر ضروري لنمو عدد كبير من السكان والمحافظة عليه وعلى استقراره. وكما رأينا في الفصل الثاني، فإن استقرار المناخ الذي وجد على الأرض منذ نشأة الحضارة، كان طويل الأمد على نحو غير عادي.

وقود الاكتشاف:

تحتاج بشكل مباشر لحياة بسيطة ومعقدة كمصادر غذاء وكدواب لحمل الأثقال، ولكنها تحتاج أيضاً بشكل غير مباشر لتنظيم المناخ وتوفير الطاقة. من خلال الأفعال المجيدة للخيال الخلاق، تمّ تحويل خشب الأشجار والرواسب المتراكمة للحياة القديمة إلى الوقود الذي يسوق محركات البحث الحديث ـ الفحم، الغاز والنفط.

معظم الفحم الذي نحرق اليوم ربما كان موروثاً من الغابات الخصبة للعصر الكربوني (منذ حوالي ثلاثمائة مليون سنة)؛ تشكل معظم البترول من النباتات البحرية على مدى ما يقرب من الفترة نفسها[١] جعل هذان الوقودان الثورة الصناعية الحديثة (التي بدأت في القرن التاسع عشر) والثروة التي تلت أوج يقظتها أمراً ممكناً[٢] لم تكن بداية الثورة الصناعية الحديثة ـ مع افتقار

= المحيط في العالم المائي، ولكن وجود الحياة الواسعة المعقّدة أقلّ احتمالاً وإذا كانت النّار مستحيلة في عالم مائي، فإنّ الدّارات الإلكترونية ممكنة؛ فمثلاً، تبيّن أسماك الأنقليس الرَّعّاد أن الدارات الكهربائية ممكنة في بيئة مائية مالحة، لكنها لن تكون مهمة سهلة. لا يوجد كائن حي معروف في الأرض تتم دورة حياته كاملة في الغلاف الجوي، مما يجعل تواجد الحياة في الغلاف الجوي للكواكب الغازية العملاقة أقلّ احتمالاً ويتمثل الإشكال الأساسي في سقوط المواد الصلبة في الغلاف الجوي نحو الأسفل فتكف عن كونها متاحة للحياة. وقد لا تكون النار مستحيلة في هذا الوسط لكنه سيكون من الصعب الحفاظ عليها.

(١) يوجد خلاف حول هذا الادعاء مؤخراً، مع قلة من العلماء الذين يقولون: إن أصل النفط غير بيولوجي؛ بل قد يكون مصدراً متجدداً مثل الخشب. انظر على سبيل المثال:

Tom Clarke, "Fossil Fuel Without the Fossil," *Nature* (online) (August 14, 2002): <http://www.nature.com/nsu/020812/020812-3.html>.

ما زال معظم الجيولوجيين غير مقتنعين.

(٢) كانت الثورة الصناعية الحديثة في الواقع مسبوقة بالثورة الصناعية في العصور الوسطى الأوروبية، التي =

المحركات البخارية والمولدات الكهربائية ومصاهر الحديد للوقود ـ لتحدث لولا الخشب أو الفحم. وإن كنتَ تشكُّ في ذلك، فعليك بزيارة جزء من العالم حيث يستخدم الناس الروث المجفف كوقود لندرة الخشب؛ وفي وسعهم عادة أن يقوموا بشيء أكثر بقليل من غلي قدر صغير من الماء.

وقد سمحت لهم ثروة الدول الصناعية بتخصيص الوقت الطويل والموارد للبحث العلمي والتطوير التكنولوجي، والتي أدت إلى اكتشافات علمية لا مثيل لها في التاريخ البشري. وللحفاظ على المستوى الحالي للبحوث، وجب على الحياة الدنيوية أن تكون ذات إنتاجية عالية لبضع مئات ملايين السنين. إن كوكباً ذو إنتاجية أولية ضعيفة سوف يستغرق وقتاً أطول لإيجاد مستويات مماثلة من الفحم واحتياطيات النفط.

ومن المثير للاهتمام، أن كل مصدر جديد للطاقة كان وفيراً وطويل الأمد بما يكفي لنتمسك به ريثما نقوم بتطوير التكنولوجيا اللازمة للوصول الى المستوى التالي من توليد الطاقة. ومكننا حرق الخشب من الاستمرار لآلاف السنين. بدون الخشب، سوف يكون من الصعب ـ لنقُل ـ على سكان عالم صخري مغطى بالحزاز إيجاد مصدر وافر ومركز من الحرارة طويل الأمد. على الأرض، كان سيتمّ قطع جميع الغابات منذ عقود مضت لو أننا لم نتعلم استخدام الفحم. ففي الواقع، فقدت انجلترا غاباتها قبل أن يصبح الفحم متوفراً بشكل واسع كبديل للخشب. وفي النهاية، دخل النفط واليورانيوم من بعده وعادت أشجار إنجلترا المغطاة بالحزاز الداكنة والملوثة إلى لونها الشاحب الطبيعي.

= ظهرت بالأذيِرَة. استخدم الرهبان قوة الأنهار بواسطة ناعورات المياه المرتبطة بأنواع مختلفة من الآلات الموفرة للجهد. كما رفعوا بشكل كبير استخدام الحديد في الزراعة والحياة اليومية. تتطلب الطاقة المائية وجود الجبال لاستقبال الأمطار وتوفير درجة الانحدار اللازمة لتمكين المياه من التدفق بسرعة. بدأت طواحين الهواء في الظهور في القرن الثاني عشر كمصدر عملي آخر للطاقة. وهكذا، فإن معظم الآلات الأولى للثورة الصناعية الحديثة كانت موجودة بالفعل في العصور الوسطى؛ إن التغير الأكبر هو مصدر الطاقة. لمزيد من المعلومات حول التقدم التكنولوجي في العصور الوسطى، انظر:

J. Gimpel, *The Medieval Machine: The Industrial Revolution of the Middle Ages* (New York: Holt, Rinehart & Winston, 1976).

من حظنا أن هذا الوقود بأنواعه، سيساعدنا حتى نتمكّن من تطوير المستوى المقبل من الطاقة ـ الذي من المرجح أنه الاندماج النووي، ومن حسن الحظ أن كل مستوى جديد من الوقود يتطلب أقل من البيئة؛ لأن طاقته أكثر تركيزاً. ويبدو أن ثاني أكسيد الكربون الذي تمّ إنتاجه أثناء تطوير مصادر جديدة للطاقة قد حسّن من صلاحية الحياة الكلية للأرض (لأسباب قمنا بعرضها في الفصل الثاني)[١]

الخامات المركزة:

لم نكن لنصل بعد إلى المستوى التكنولوجي الحالي بسرعة لو أن العمليات الجيولوجية لم تركز الخامات المعدنية في القشرة الأرضية. تعتمد تكلفة تعدين الخام إلى حدٍّ كبير على تركيزه. يكتب الجيولوجي **جورج بريمهول** (George Brimhall) بجامعة بيركلي:

> إنشاء الخامات المعدنية وجعلها بالقرب من سطح الأرض نتيجة لشيء أكبر بكثير من مجرد صدفة جيولوجية بسيطة. سلسلة مضبوطة للأحداث الفيزيائية والكيميائية فقط، والتي تحدث في البيئة والتسلسل المناسبين متبوعة ببعض الظروف المناخية، يمكنها أن تؤدي إلى تركيز عالٍ من هذه المركبات التي يعد وجودها أمراً مفصلياً بالنسبة لتطور الحضارة والتكنولوجيا[٢]

لا يمكن الاستغناء أيضاً عن نفس العمليات التي تجعل الأرض كوكباً صالحاً للحياة، خاصة تكتونية الصفائح والدورة الهيدرولوجية، المهمة لتركيز الخامات المعدنية. من السهل أن نفهم لماذا تتركز الخامات قرب السطح. تعد القشرة الواجهة الواصلة بين الأرض والماء والهواء. تتدفق المحاليل المائية الغنية بالمعادن، عبر الشقوق في تصدعات صخور القشرة الأرضية،

(١) وبطبيعة الحال، فمع ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ربما يكون هناك شيء جيد. ومن حسن الحظ أن مسجلات البيانات المختلفة للأرض تمدنا بالمعلومات اللازمة لتقدير هذه الإمكانية والاستجابة وفقاً لذلك.

(٢) George Brimhall, "The Genesis of Ores," *Scientific American* (May 1991): 84.

فترسّب المعادن إثر اتصالها بالسطوح الصخرية الباردة. لكن هذه المعادن الذائبة تبقى على مقربة من السطح بسبب ندرة كسور الصخر المفتوحة في العمق، ولا يمكن للسوائل أن تتدفق بعيداً جدّاً إلى الأسفل. في الواقع، تتدخل المياه بطريقة أو بأخرى، في تركيز جميع الخامات تقريباً في القشرة؛ كما تدين وفرة الخامات المعدنية للأرض بالكثير لقدرة الماء المذيبة.

لنلق نظرة على النّظائر المشعّة الهامّة. على الرّغم من بعض المطالبات الشّائعة التي تدّعي العكس، فإنّ معظم يورانيوم الأرض والثّوريوم لا ينزل إلى نواتها. فقد تبيّن أنّ اليورانيوم، وكذا البوتاسيوم والثّوريوم، هي العناصر الأكثر تركيزاً في القشرة؛ لأنّها أليفة الصّخور (lithophiles) ـ نزّاعة إلى التّجمع في موادّ متحجّرة. يتركّز اليورانيوم في القشرة القارية ما يقارب مائة مرّة ممّا هو عليه في الوشاح[1] إنّ الكتلة المعتبرة للوشاح فقط تجعل منه مصدر الأرض الرّئيسي للتّسخين الإشعاعي. تقوم نفس القوى التي بنت القارّات بتركيز هذه العناصر في القشرة؛ تؤدّي كل حركة تقلّبية إلى ترسّب بعض النّظائر المشعّة هناك. تعدين اليورانيوم سيكون غير عملي لو أنّ كميات هذه النّظائر الموجودة بالقشرة كانت متناسبة مع الموجودة بالوشاح. كما هو الحال فيما يخص الخامات المعدنية، فإنّ الجزء الأصغر من كتلة الأرض الذي يحتوي على أكثر كمية من اليورانيوم الذي تمّ تعدينه بسهولة هو نفسه الجزء الأكثر صلاحية للحياة.

وقد ساعدت الحياة أيضاً على تركيز الخامات في القشرة، وكمثال خاص غير اعتيادي على هذا «التمعدن الحيوي» نذكر مجموعة من أكسيد اليورانيوم المتبقي من طرف الحصائر الجرثومية ـ عبارة عن تجمعات طباقية من البكتيريا في اللاغونات (lagoons) الملحية المتبخرة ـ قبل حوالي بليوني سنة في ما يعرف الآن بأوكلو في الجابون، إفريقيا. كان نظير اليورانيوم ـ ٢٣٥

---

(١) C. M. R. Fowler, *The Solid Earth: An Introduction to Global Geophysics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), 225.

عندئذ قصير الأمد نسبيّاً، أكثر وفرة في القشرة الأرضية. في أوكلو، تركز الكثير من اليورانيوم لدرجة أن التفاعلات النووية بدأت تحدث تلقائيّاً، مع عمل الماء كوسيط[1] توقفت التفاعلات الانشطارية منذ فترة طويلة؛ وتبقّى القليل جدّاً من اليورانيوم ـ ٢٣٥ في التركيزات الطبيعية للتفاعلات المستمرة. اليوم تعتبر المفاعلات الأحفورية في أوكلو المصدر الرئيسي لليورانيوم للصناعة النووية الفرنسية. كانت خامات اليورانيوم في أوكلو قادرة على أن تتراكم فقط لأن الجو أصبح غنيّاً بالأوكسجين، فسمح الأوكسجين لليورانيوم بالتواجد في شكل معدني قابل للذوبان في الماء. قبل ارتفاع معدل الأوكسيجين في الغلاف الجوي، لم تتمكن الكائنات الحية من تركيز اليورانيوم في الحصائر الجرثومية. ربما كانت زيادة الأوكسجين في الغلاف الجوي لتنتظر تفتت معظم اليورانيوم ـ ٢٣٥؛ لئلا يشكل خطراً محدقاً على الحياة في الحصائر. بعبارة أخرى، كان يمكن أن يكون هذا، عملية تمكن من تعيين الجدول الزمني لارتفاع الأوكسجين في الغلاف الجوي.

يسلط **بريمهول** أيضاً الضوء على أهمية الأوكسجين في الغلاف الجوي لتقطير بعض الخامات المعدنية كالنحاس؛ ما يسمى بالتخصيب الثانوي للخامات التي تحدث؛ لأن الماء يمكن أن ينقل بعض أيونات المعادن بسهولة أكبر في غلاف جوي غني بالأوكسجين، غلاف جوي حيوي لقيام الحياة التكنولوجية بطرق شتى. يحتاج كوكب ما إلى تاريخ طويل من الحياة النباتية بالنسبة لسكانه لتزويد التنمية التكنولوجية بالوقود وإلى غلاف جوي غني بالأوكسجين لحرقه[2] لذلك يكتب **مايكل دنتون**: «هناك صدفة رائعة أخرى

---

(١) انظر:

P. Karuda, The *Origin of Chemical Elements and the Oklo Phenomenon* (New York: Springer-Verlag, 1982); G. A. Cowan, "A Natural Fission Reactor," *Scientific American* (July 1976): 36-47.

(٢) يمكن استخدام غاز الميثان كوقود، لكن من غير المحتمل أن يوافق الميثان غير البيولوجي الأوكسجين في الأغلفة الجوية الأرضية. تتوفر بعض الأجسام في النظام الشمسي على الميثان بدون الأوكسجين. ربما كان الميثان موجوداً بوفرة على الأرض للبلايين الأولى من السنين بعد تشكّلها. لكنه ربما أصبح نادراً عندما أصبح الغلاف الجوي غنيّاً بالأوكسجين.

وهي أن الأجواء التي يتراوح معدل الأوكسجين بها ما بين عشرة وعشرين في المئة فقط يمكنها أن تدعم التمثيل الغذائي المؤكسِد في الكائنات الحية الأعلى، وضمن هذا النطاق فقط حيث وجود النار ـ وبالتالي التعدين والتكنولوجيا ـ أمراً ممكناً»[1] أمور.

على الرغم من أن ما يمكن قوله يفوق هذا بكثير، فإنه ينبغي أن يكون من الواضح أن الحقل المغناطيسي لكوكب الأرض وتكتونية الصفائح ـ بالإضافة إلى دورة الكربون المرتبطة بها، خلط المواد الغذائية، وبناء القارات ـ أمور فاصلة لكلٍّ من الحياة والاكتشافات العلمية في مجالات متنوعة مثل الجيوفيزياء وعلم الفلك. يتوقف تطور التكنولوجيا كذلك، الذي يُعد أمراً ضروريّاً لفك أسرار أنحاء عدة من الكون، على عدد من العمليات الكوكبية الرئيسية، بما في ذلك النمط الجيد من الغلاف الجوي. ومن حسن حظنا، فإننا نتوفر على الغلاف الجوي المناسب.

---

(١) Denton, *Nature's Destiny*, 117.

الفصل الرابع

تدقيق النظر في الأعلى

«إنّ هذا الظّرف المركّب الذي نعيش فيه على الأرض والذي يمكّننا من رؤية النّجوم ـ أي: أنّ الظّروف الضّرورية للحياة لا تستبعد الظّروف الضرورية التي تمكن من الرّؤية، والعكس ـ ظرف بعيد الاحتمال بصورة لافِتة.
هذا لأنّ الوسط الذي نعيش فيه، من جهة، سميك بما يكفي ليمكّننا من التّنفس ويمنعنا من التّعرض للاحتراق تحت تأثير الأشعّة الكونية، لكنّه من جهة أخرى، ليس كامداً جداً بما يجعله يمتصّ ضوء النّجوم ويحجب أي منظر في الكون. يا له من توازن هشّ بين ما هو مهيب وما لا يمكن الاستغناء عنه».

ـ هانس بلمنبرج[1]

رؤية واضحة:

في عمله الكلاسيكي من الخيال العلمي «حلول الظلام»، يحكي إسحاق أزيموف قصّة لاغاش (Lagash)، وهو كوكب مسكون يدور حول ألفا (Alpha)، أحد النّجوم السّتّة في نظام متعدّد النّجوم. وبسبب سمائه المكتظّة، فسّكان لاغاش ـ بعكس ساكنة الأرض ـ لا يعرفون الظلمة ولا الليل. تبدأ

(١) أثناء كتابة هذا الكتاب، اكتشفنا أن هانز بلومنبرغ (Hans Blumenberg) اقترب جدّاً من التّفكير حول الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس في هذه الجملة التّمهيدية من سِفره الضّخم «نشأة الثّورة الكوبرنيكية»، الذي ترجمه روبرت م. والاس (كامبريدج: معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، ١٩٨٧م)، والذي نُشر في الأصل بعنوان (Die Genesis der kopernikanischen Welt) سنة ١٩٧٥م. ومن دواعي الأسف بالنسبة لتقدّم الفلسفة الطّبيعية ومن حسن حظّ تقدّم طموحاتنا الخاصّة في النّشر، فهو يعمل على تقديم دعواه لأهمية الأحداث التّصادفية التّاريخية في التّقدم العلمي، لكنّه لا يوضّح الفكرة بالتّفصيل.

القصّة قبل أن التنبؤ بحجب أحد الأقمار الكبيرة للنجم في السماء بعد أن غابت بقية النّجوم ببضع ساعات. على كوكب لاغاش، يقع هذا الحدث مرة واحدة فقط كل ٢٠٤٩ سنة ـ ما يكفي لظهور الخرافات عن النّجوم، دون معرفةٍ حقّةٍ. ينتظر النّاس وفي ذاكرتهم بعض الصّور الضّبابية، الكسوف في خوف مما قد يجلبه الظّلام. وعلى الرّغم من الخوف، فإنّهم ناجون من الحدث. عندما ينتهي الكسوف، تلخص القصّة في حزن «أتى اللّيل الطّويل مجدّداً»، يشير «اللّيل الطّويل» إلى ٢٠٤٩م سنة المقبلة، وهي الفترة التي سيستمر فيها جهلهم بالنجوم[1]

في لحظة خاطفة من نفاذ البصيرة، قال إمرسون ذات مرة: «إذا كان ينبغي للنّجوم أن تظهر ليلة واحدة في ألف سنة، كيف يمكن للمرء أنّ يصدّق ويعشق ويحفظ على مدى أجيال، ذكرى مدينة الله!» فنحن والحال هذه، نخاطر باتّخاذنا حشد النجوم في سمائنا، وكأنه معطى مسلم لا يستدعي منا أدنى تأمل أو تفكير. لقد ألهمت أمراً بديهيّاً في سمائنا اللّيلية. ألهمت هذه النّقط الضّوئية الثّقافات والديانات الكبرى للعالم بأسره.

كما أنها عززت لدينا الفضول والملاحظة الدّقيقة التي أسّست علم الفلك، هذا العلم الذي كانت لتنسد طريقه لولا وجود ظاهرتين في بيئتنا: ليال حالكة ومناخ شفّاف للضّوء المرئي. بدون هذه المميّزات، كنا لنكون جاهلين تماماً بالكون الخارج عن مجال تواجدنا. ولتقدير هذا الحظّ الجيّد، يجب على الجميع، ولو لمرة واحدة على الأقلّ، أن يقف على قمة جبل تحت السّماء الواسعة، في ليلة واضحة غير مقمرة؛ حيث الهواء النّقي، والنّجوم السّاطعة، حيث ستذكّر رئتاك عينك بأنك على كوكب ذي غلاف جوي.

لنلق نظرة على شفافية الغلاف الجوي، التي تعد مجرد جزء من القصة في حقيقة الأمر. يشارك غلافنا الجوي في إحدى الصدف الأكثر غرابة والتي تعرف في العلم: بالتلاؤم الغريب بين مجموعة من الأطوال الموجية للضوء

---

(١) Isaac Asimov, *Nightfall and Other Stories* (Greenwich, Conn.: Fawcett Publications, Inc, 1969), 11-43.

المنبعث من الشّمس، المنتقل عن طريق الغلاف الجوي للأرض، والمتحول إلى طاقة كيميائية بواسطة النباتات، والملتقط من قبل العين البشرية. تدرك العين البشرية الأطوال الموجية للضوء على شكل ألوان مختلفة، تتدرج من اللون البنفسجي الأزرق (أقصر طول موجي في الطيف المرئي) إلى اللون الأحمر (الأطول). عند النظر إلى الرسم البياني للطيف الكهرومغناطيسي، فإننا نرى الضوء المرئي ينبثق بخفة من الأشعة فوق البنفسجية، مشتقّاً إلى الألوان المألوفة في قوس قزح، ثم يختفي بسهولة تامة في الأشعة تحت الحمراء الحارة غير المرئية. ترتفع الأطوال الموجية وتنخفض على مقياس النانو، تقاس المسافات بين ذروتها بجزء من عشرة مليار من المتر، وهي وحدة قياس تدعى الأنغستروم (رمزها A°). نرى الأزرق بحوالي ٤٨٠٠ A° والأخضر بقياس ٥٢٠٠ A° والأصفر بقياس ٥٨٠٠ A°، والأحمر ٦٦٠٠ A° يتميز الغلاف الجوي للأرض بنفاذيته للإشعاع بين ٣١٠٠ إلى ٩٥٠٠ A° ولموجات الراديو الأطول من ذلك بكثير. يقع الإشعاع الذي نراه بالقرب من منتصف هذا المجال، بين ٤٠٠٠ و٧٠٠٠ A°، وهو نفس المجال الذي تبعث فيه الشّمس ٤٠ في المئة من طاقتها. تقع قمم طيفها وسط هذا الطيف المرئي، في ٥٥٠٠ A°. وهذا ليس سوى مقطع صغير من مجال كامل. تمثل الأطياف المرئية القريبة من الأشعة تحت الحمراء والأشعة البنفسجية ـ أي: الضوء الأكثر فائدة بالنسبة للبصر والحياة ـ شريحة رقيقة للغاية من الانبعاثات الكهرومغناطيسية الطبيعية للكون: حوالي جزء واحد من ١٠٢٥. وهذا أصغر بكثير من نجم واحد من بين كل النجوم في الكون المرئي كله: حوالي ١٠٢٢. (انظر: اللوحة ٧).

يحدث غلافنا الجوي تقريباً توازناً مثاليّاً، ناقلاً معظم الإشعاع المفيد للحياة ومانعاً من تسرب معظم الطاقة المميتة. يعمل بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي أيضاً كمسعف[1] وهي حقيقة تعترف بها حتى الطبعة الخامسة

---

(١) انظر:

Nature's Destiny 50-61.

عشرة من موسوعة بريتانيكا (Encyclopaedia Britannica): «نظراً لأهمية ضوء الشّمس المرئي بالنسبة لجميع أوجه الحياة الأرضية، لا يمكن للمرء ألا يشعر بالرعب بسبب المجال الضيق في الامتصاص الجوي. وفي طيف الامتصاص الخاص بالماء»[١] تنقل المحيطات مجال أضيق من الطيف خاصة الأزرق منه والأخضر، بيد أنه يوقف الأطوال الموجية الأخرى بالقرب من السطح؛ حيث تغذي الحياة البحرية التي تظهر بشكل بارز في المحيط الحيوي للأرض (سنعود إلى هذه النقطة في الفصل السابع).

يبدو من المعقول أن هذا مجرد نتاج لعيوننا والذي تطورت من خلال انتقاء طبيعي لفك رموز الطيف الضوئي الذي يخترق الغلاف الجوي. لكن الحقيقة السالفة ليس من السهل رفضها[٢] كما يعلق على ذلك **جورج جرينشتاين**:

> قد يتصوّر المرء أنّ صورة معينة من التكيف تعمل هنا: تكيف الحياة النّباتية لخصائص أشعّة الشّمس. فلو، كانت الشّمس ذات درجة حرارة مختلفة، ألم يمكن بالإمكان لبعض الجزيئات الأخرى، والقادرة على امتصاص ضوء من لون مختلف أن تأخذ مكان الكلوروفيل؟ اللافت للنظر أن الجواب سيكون بـ «لا». ذلك أنّه في الحدود العامة، تمتصّ كلّ الجزيئات ضوءاً ذا ألوان مشابهة. يتمّ امتصاص الضوء بإثارة الإلكترونات في الجزيئات إلى مستويات أعلى من الطّاقة، ويتطلّب هذا نفس المقياس العام للطّاقة، مهما كانت الجزيئة التي نتحدّث عنها، بالإضافة إلى ذلك، يتكون الضّوء من الفوتونات؛

---

(١) *Encyclopaedia Britannica*, fifteenth ed. 18 (1994): 203.

(٢) لمزيد من التفاصيل حول هذه النقطة، انظر: دينتون، ٤٧ ـ ٧٠، والمراجع المذكورة فيه. وللاطلاع على بحث تقني انظر:

W. H. Freeman and A. P. Lightman, "Dependence of Microphysical Phenomena on the Values of the Fundamental Constants," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 310 (1983): 323-336; J. D. Barrow and F. J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 338.

يستخرجون درجة حرارة السطح النموذجية للنجم (وبالتالي طاقة الفوتون النموذجية) والطاقة النموذجية للتفاعلات البيولوجية من المبادئ الأولى ويؤكدون أن الاثنين قريبان بشكل مدهش. وهم يعتبرونها صدفة حقيقية.

وحزم الطّاقة، والفوتونات ذات الطّاقة الخاطئة ببساطة لا يمكن استيعابها(١)

وبعبارة أخرى، بسبب الخواص الأساسية للمادة، تتوافق الطاقة النموذجية المشاركة في التفاعلات الكيميائية مع الطاقة النموذجية للفوتونات الضوئية. ولولا ذلك لما كانت الحياة الممتدة على البناء الضوئي أمراً ممكناً. يمكن للفوتونات ذات طاقة عالية أن تفتت المركبات الكيميائية، بينما لا تحفز الفوتونات ذات الطاقة القليلة التفاعلات الكيميائية. ويحافظ نفس الاحتجاج على تماسكه فيما يخص مجال الأطوال الموجية؛ حيث يكون المناخ شفّافاً. فالنجوم التي لا ينبعث منها النوع الصحيح من الإشعاع بكميات محددة غير مؤهلة لتكون مصدر طاقة مفيدة للحياة.

يعتمد الإشعاع المنبعث من النجم وذروة انبعاثه على درجة حرارته. تتراوح درجات حرارة النجوم العادية حول عامل بمقدار عشرين تقريباً. تقع الشّمس تحت منتصف هذا المجال بقليل. في حين تبعث النجوم الغريبة معظم طاقتها إلى أقصى طرفي الطيف الكهرومغناطيسي؛ كأشعة غاما، الأشعة السينية، أو موجات الراديو(٢) إن نجماً كشمسنا، والتي تنتج غالباً الفوتونات التي بإمكانها تنشيط

---

(١) George Greenstein, *The Symbiotic Universe* (New York: William Morrow, 1988), 96-97.

(٢) إليكم هذا اللغز: كيف يمكن للعلماء الفلكيين إنتاج صور لمصادر فلكية من أشعة غاما توقفت عالياً في الغلاف الجوي؟ يبدو هذا مستحيلاً. لكن بفضل ظاهرة تسمى إشعاع سيرينكوف (Cerenkov emission)، يمكن لأجهزة كشف الضوء البسيطة على الأرض أن تحدد وتعين موقع طاقة أشعة غاما المنفردة. عندما يدخل شعاع غاما عالي الطاقة في الجزء العلوي من الغلاف الجوي، فهو يصيب ذرة ما ويثير سلسلة من التفاعل النووي. ينتج التفاعل الأول بضع جزيئات، تتفاعل بدورها، مع ذرات أخرى في الغلاف الجوي وهكذا. فتستنفذ في نهاية المطاف كل الطاقة الأصلية وتتوقف السلسلة. وعبر السلسلة تنتج الجسيمات المشحونة التي تسافر بسرعة كافية (أسرع من سرعة الضوء في الغلاف الجوي) إشعاعات شيرينكوف المرئية التي يمكن التقاطها على الأرض. يمكن لأجهزة الكشف عن إشعاعات شيرينكوف الحديثة أن تنتج صوراً لأشعة غاما في السماء. للاطلاع على نبذة عن هذا النوع من التجارب، انظر:

A. Kawach et al., "The Optical Reflector System for the CANGAROO-II Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope," *Astroparticle Physics* 14 (2001): 261-269.

انظر أيضاً: موقع فيريتاس /http://veritas.sao.arizona.edu. إذن يمكننا أن نرى الكون من الأرض في ثلاث شرائح منفصلة من الطيف ـ أشعة غاما، المرئي، والراديوي. تكوّن هذه الأجزاء مجتمعة مهمة من النطاق الكلي. ومع ذلك فإن المنطقة المرئية هي الأكثر أهمية حتى الآن.

التفاعلات الكيميائية على الأرض، تشع بضوء آتٍ من تلك المنطقة من الفوتوسفير حيث يمكن للذرات أن تنضم لتكوين مركبات كيميائية مستقرة[١]؛ لذلك لا يمكننا أن نفسر جزءاً واحداً من هذه الصدفة بدلالة الأجزاء الأخرى. لا يمكن أن تستخدم الحياة أي نوع من الضوء من أي نوع من النجوم. تبين أن شمسنا، قريبة من الوضع المثالي لأي نوع معقول من الحياة الكيميائية[٢]

إن غلافاً جوياً نصف شفاف بالكاد سيسمح للضوء بالمرور ليصل إلى سطح الأرض، يكون كافياً لذلك. إننا بحاجة غلاف جوي أشبه بلوح زجاجي نظيف في مقابل لوح ملثج، تماماً كالغلاف الجوي للأرض، الذي يمتاز بشفافيته بهدف رؤية النجوم والكون الواسع[٣] (انظر: اللوحة ٨). نحن نستمتع طبعاً بهذه المناظر لأننا محظوظون بكوننا على اليابسة؛ إذ أن المنظر لن يكون بذات الجودة ولا تقريباً منها لو كنا نعيش تحت الماء.

---

(١) وعلاوة على ذلك، فإن الذروة في انبعاث طيف نجم ترتبط جزئيّاً فقط بتلك العمليات التي تتعلق بالطاقة الكيميائية ـ أي: التفاعلات التي تقوم فقط على تبادل الإلكترونات وتفاعلها مع الفوتونات. وتعتمد على درجة حرارة سطح النجم، التي تعتمد بدورها على التفاعلات النووية في نواته وتفاصيل كيفية اجتياز الإشعاعات إلى باطنه.

(٢) يعتمد المدى الذي يمكننا به رؤية ما بداخل الغلاف الجوي لنجم ما، على لاشفافيته ـ أي: على مقاومته لنقل الضوء. تزداد لاشفافية الغاز في النجم بسرعة عند درجة الحرارة التي يمكن أن تتشكّل فيها الجزيئات والذرات المحايدة، وبعبارة أخرى، حيث تصبح الكيمياء مهمة. يمكننا أن نرى في الغلاف الجوي حيث تكون الجزيئات قادرة على أن تبدأ بالتشكّل. (ولهذا آثار على ظهور الطيف الشمسي، الذي سنناقشه في الفصل السابع). تهيمن الجزيئات على الأسطح المرئية للنجوم الباردة بدرجة كبيرة. في حين تقل الجزيئات، إن وجدت، في النجوم الساخنة. يتم امتصاص معظم الفوتونات من النجوم الساخنة في الغلاف الجوي للأرض فتفصل الجزيئات عن بعضها. في حين يتم امتصاص معظم الفوتونات من النجوم الباردة من طرف الجزيئات، فتثير فيها هذه، اهتزازات منخفضة الطاقة. وهكذا، فإن ظهور الطيف الشمسي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالحياة على الأرض وشفافية غلافها الجوي في الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي. يتبين أن درجة حرارة سطح نجم حساسة جدّاً لثوابت الفيزياء. سنناقش هذا باستفاضة في الفصل العاشر. وبالتالي، فالمناقشات الواردة في هذا الفصل تنطبق تحديداً على مجموعة معينة من الثوابت الفيزيائية الموجودة في عالمنا.

(٣) يحد الغلاف الجوي للأرض من الاستبانة الزاوية إلى ثانية قوسية واحدة تقريباً من السطح. وأي مصادر للإشعاع ذات أحجام زاوية أقل مثل النجوم، ستظهر كنقاط غير ثابتة. تحقق مواقع القمم الجبلية عالية الجودة عادة دقّةَ ثلثٍ إلى نصف ثانية قوسية.

وحتى مع وجودنا على يابسة ووجود غلاف جوي شفّاف، لن يكون فإن هذا كافياً. لن تكون هناك فائدة كبيرة دون الليالي المظلمة. فبالرغم من أننا نتعامل مع الموضوع كمنحة لا نفكر فيها، فإن الليالي المظلمة تعتمد على العديد من المتغيرات الفلكية، بعضها محلي، وبعضها غير محلي. تتطلب السماء المظلمة أن يدور كوكبنا بشكل منتظم بعيداً عن الضوء المباشر الشديد القادم من الشّمس[1] لو كان اليوم بطول السنة، لبقي نفس الوجه من الأرض مشيراً نحو الشّمس، كما هو الأمر بالنسبة للقمر مع الأرض، ويمكن أن يكون فارق الحرارة الكبير الناتج بين الليل والنهار معادياً للحياة المعقّدة (سنتحدث بتفصيل عن هذا بالفصل السابع). ستبقى أي حياة معقّدة؛ إن كان من الممكن أن توجد، على جانب النهار. إلا إذا حظي الكوكب بظواهر الكسوف الكلي، مثل لاغاش، فلن يشهد سماء مظلمة.

كنا لنعاني من مشاكل مماثلة، لكنها ستكون أقل حدة لو كان لدينا عدة أقمار تحدق باستمرار في السماء ليلاً كالمصابيح الأمامية على طريق سريع ومزدحم. يؤثر قمرنا الوحيد على قدرة علماء الفلك لمراقبة الأجسام البعيدة الخافتة، ولكن فقط إذا كان بازغاً. وعلاوة على ذلك، فإن الرؤية الآن أفضل مما كانت عليه في الماضي البعيد، عندما كان القمر تقريباً ثلاث مرات أقرب إلى الأرض، بالتالي تسع مرات أكثر إشراقاً.

من الممكن طبعاً أن يعمل غلاف جوي نصف شفّاف لتحويل ضوء الشّمس إلى طاقة كيميائية أو صيد الفرائس وتجنب الحيوانات المفترسة. لكن لأننا مخلوقات ذات أدمغة كبيرة، متنقلة، وتعيش على السطح، فنحن بحاجة إلى نوع معين من الغلاف الجوي. ويحدث أن هذا الغلاف الجوي بالضبط ـ المتكون في معظمه من النيتروجين والأوكسجين مع بعض ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء ـ شفّاف للأشعة الضوئية. تعتبر هذه المواد الكيميائية الأربعة

(١) وتتطلب كذلك ألا تكون لدينا الأقمار الساطعة للغاية التي تلوث السماء بضوئها (مع أن القمر الساطع الأقل تلويثاً ذو فائدة، كما سنرى في الفصل السادس). وأخيراً، تتطلب ألا تكون السماء مليئة جدّاً بالنجوم القريبة التي لا نستطيع رؤيتها في الكون البعيد (الذي سنناقشه في الفصل الثامن).

ضرورية لغلافنا الجوي. ربما يعيق الماء جزئياً نظرتنا إلى الكون البعيد، لكن قيمة الميزات التي يوفرها تقوم مقام التعويض عن ذلك بشكل كبير.

على سبيل المثال، من النتائج المثيرة للإعجاب للماء الجوي بشكل خاص ظاهرة قوس قزح. يظهر قوس قزح أجزاء متساوية غريبة وغامضة، تستدعي إبداع الفنان وفضول عالم الطبيعة(١) بدأت المحاولات المبكرة لشرح تكوينها مع دروسنا الأولى حول طبيعة الضوء. أدرك العلماء الذين تتبعوا هذه الإشارات الدلالية في آخر المطاف، كيفية فك الضوء الأبيض للشمس. توجه نظر **رينيه ديكارت**، ثم في وقت لاحق، **إسحاق نيوتن**، الذي أجرى تجارب على ضوء الشّمس والموشورات عام ١٦٦٦م، نحو التفسير الحديث لقوس قزح والعلم الحديث للتحليل الطيفي. إن القوس قزح في واقع الأمر عبارة عن مطياف طبيعي كبير بحجم السماء. بمجرد أن أدرك العلماء كيفية استخدام الموشور لتكرار القوس قزح، لم تكن إلا مسألة وقت قبل أن يقوم شخص ما بتدقيق النظر في الطيف الشّمسي. ولكن ظواهر القوس قزح لا تحدث ببساطة على أي كوكب. يحتاج القوس قزح الجيد إلى جو غائم جزئيّاً(٢)، المعدل المثالي بين غائم بشكل منتظم وجاف بشكل منتظم.

ينتج ماء الأرض في السماء الغائمة حوالي ٦٨ في المئة في المتوسط(٣)

---

(١) للاطلاع على معلومات مفيدة جدّاً حول علم القوس قزح وفنه وأدبياته، انظر:

R. L. Lee, Jr., and A. B. Fraser, *The Rainbow Bridge: Rainbows in Art, Myth, and Science* (Pennsylvania: The Pennsylvania State University, 2001); C. B. Boyer, *The Rainbow: From Myth to Mathematics* (New York: Thomas Yoseloff, 1959).

(٢) يحدث أفضل قوس قزح عندما تكون قطرات المطر بين ٠,٥ و١,٠ ملم وفيرة. وتتحقق هذه الظروف بشكل أفضل في العواصف الرعدية (مع تساقط مطري بمعدل يقارب بوصة واحدة في الساعة). يحافظ التوتر السطحي المرتفع للمياه السائلة على الشكل الكروي لقطرات المطر التي يقل حجمها عن مليمترين كما تسقط على الأرض. تصبح القطرات الكبيرة مشوهة للغاية. يعتبر الشكل الكروي ضرورياً لإنتاج الألوان الرائعة في القوس قزح. لا يمكن لمادة سائلة ذات توتر سطحي أقل أن تنتج مثل هذه القطرات الكروية الكبيرة وبالتالي لا يمكنها إنتاج ألوان القوس قزح. وبطبيعة الحال، يمكن للمرء أن يرى أيضاً قوس قزح في الجزء السفلي من الشلال، لكن ليس في غياب أشعة الشمس المباشرة.

(٣) E. Pallé and C. J. Butler, "Sunshine Records from Ireland: Cloud Factors and Possible Links to Solar Ac- = tivity and Cosmic Rays," *International Journal of Climatology* 21 (2001): 709-729.

تساعد الغيوم على موازنة الطاقة العالمية من خلال المساهمة في الألبيدو العالمي (global albedo)، ذلك الانكسار لأشعة الشّمس عند انعكاسها مرة أخرى نحو الفضاء. تعكس الأرض حاليّاً حوالي ٣٠ بالمئة من أشعة الشّمس الذي تصل إليها. تساهم أربعة أنواع رئيسية من السطوح العاكسة في الألبيدو العالمي: اليابسة، والجليد، والمحيطات، والغيوم، كل بخصائصه العاكسة الخاصة.

تغذية راجعة:

المرونة أمر ضروري لتنظيم المناخ. إذا كنا نبني كوكباً صالحاً للحياة من الصفر، فإننا نريد لأنواع الألبيدو[١] المختلفة أن تكون قابلة للتكيف مع الظروف المتغيرة. إذا كان جزء من النّظام المناخي للأرض يتغير بشكل ملحوظ، فإن درجة الحرارة ستتغير. إلا إذا كان بإمكان جزء آخر أن يعدلها. على سبيل المثال، لنقل: إن الشّمس تضيء إلى حد كبير لبضعة ملايين من السنين. إذا لم يكن هناك جزء آخر من نظام يقابل هذا، سترتفع درجة حرارة الأرض، وربما تكون العواقب وخيمة على الحياة. يمكن للقمم الجليدية القطبية أن تتعرض للذوبان، مما يتسبب في نقص قدرة الأرض في التصدي لطاقة الشّمس، ويؤدي إلى حلقة حلزونية من التسخين الذي يمكنه بمرور الوقت أن يبخر المحيطات. ولكن مثل هذا السيناريو الكئيب يتجاهل وجود العوامل الموازنة. يمكن للبيئة أن تعوض عن هذا عن طريق زيادة السّحب وهطول الأمطار. وهذا من شأنه أن يعكس الطاقة الشّمسية الزائدة مرة أخرى نحو الفضاء ويشجع على نمو النبات، وبالتالي امتصاص ثاني أكسيد الكربون، ولولا ذلك لكان غلاف الأرض الجوي حاراً بشكل خانق. إننا ندعو هذه القوى المحققة للاستقرار بعمليات التغذية الراجعة السلبية (negative feedbacks).

= وبصرف النظر عن عنوان المقال، لم يقتصر المؤلفون على مناقشة السماء فوق أيرلندا. لا نعرف حتى الآن كيف يتغير التغيّم على مدى فترات طويلة من الزمن أو كيف تتغير مع تكوين الغلاف الجوي. ومع ذلك فهي تتغير بنسبة ضئيلة على مقاييس زمنية عقدية.

(١) مقدار الضوء أو الإشعاع المنعكس من على سطح كوكب أو قمر ما (المترجم).

تعمل أنواع الألبيدو الأربعة على مقاييس مختلفة، والسّحب هي المستجيبة السريعة. تستجيب الأشجار والنباتات بشكل أكثر بطئاً، تتغير بسرعة تغير فصل واحد أو ببطء عدة عقود. يمكن أن تأخذ التّغيّرات على مستوى البحار مئات أو حتى ألوفاً من السنين. كما يمكن أن تأخذ التّغيّرات الجيولوجية مليون سنة أو أكثر. وهذا أمر حيوي؛ لأن الشّمس تغير طاقتها الخارجة على هذه المقاييس الزمنية. تنتج مجموعة كبيرة من البقع الشّمسية تغييرات قصيرة المدى ضد التّغيّرات البطيئة الناتجة على مدى دورة البقعة الشّمسية الإحدى عشرة البارزة، وغيرها من الدّورات التي تمتد على مئات السنين. أشرقت الشّمس ببطء على مدى مليارات من السنوات عندما تمّ تسخين نواتها.

ومع أننا ما زلنا لا نفهم تماماً آليات تنظيم غطاء السحب، إلا أن عمليات التغذية الراجعة السلبية تربطها بأجزاء أخرى من النّظام المناخي، ولكن لتنظيم المناخ، فإن الغلاف الجوي الغائم بشكل جزئي أفضل من غلاف مليء كليّاً بالسّحب أو غلاف خال من السّحب. لأنه بالنسبة لكلا الاحتمالين، يستحيل تنظيم المناخ بمجرد تغيير الغلاف السحابي. يمكن للغلاف الجوي؛ حيث نسبة السّحب فيه تختلف تماماً عن ٠ أو ١٠٠ في المئة أن يوفر تغذية مرتدة سلبية للمساعدة في الحفاظ على حياة مريحة. ينطبق الشيء نفسه على تدخلات اليابسة، والمحيطات، والجليد. تتوفر الأرض على المجموعة الأكثر تنوعاً من السطوح العاكسة في النّظام الشّمسي، توفر جميعها ضوابط مناخية بيولوجية وغير بيولوجية. ثم تزدهر الحياة على هذه الحدود البينية: الغلاف الجوي ـ اليابسة، الغلاف الجوي ـ المحيط، اليابسة ـ المحيط، والغلاف الجوي ـ اليابسة ـ المحيط.

إن فكرة أن الأرض تتوفر على عمليات التغذية الراجعة؛ حيث تتفاعل كائناتها الحية مع أجزائها غير الحية لتنظيم المناخ العالمي هي ما يعرف بفرضية غايا (Gaia hypothesis). **جيمس لوفْلوك ولين مارغوليس** هما أول من اقترحا هذه الفرضية في السبعينات. بحجة أن مثل هذه التفاعلات تميل

إلى جعل البيئة أكثر ملاءمة للحياة، وذلك بتحييد تغير المناخ[1] قارن **لوفلوك** نظام الضبط للأرض الذي أطلق عليه اسم «جيوفيزيولجيا»، بنظام التمثيل الغذائي في الحيوان الثديي أو الخشب الأحمر[2] عرض **لوفلوك وأندرو واتسون** فرضية غايا بواسطة «نموذج اللعبة» الرياضي، المسمى ديزي ورلد (أو عالم الأقحوان Daisyworld)[3] لدى ديزي ورلد مدار مطابق تماماً لمدار الأرض، ونجم مضيف تماماً كالشّمس. على كوكب الديزي ورلد، هناك نوعان من الأقحوان؛ الأول أسود والثاني أبيض، (أو المظلمة والمضيئة بالمقارنة مع التربة الخالية)، تنمو في بقع كبيرة متباينة. ينمو كلا النوعين بشكل أفضل في نفس درجة الحرارة المثلى، ولهما نفس حدود درجة الحرارة العليا والدنيا لنموهما، درجة الحرارة العامة المتعلقة بالنمو عبارة عن قطع مكافئ بسيط (يشبه خوذة). بما أن الأقحوان الأبيض عاكس بشكل أكبر من الأقحوان الأسود، فإن رقعة من الأقحوان الأبيض تنتج بيئة محلية أكثر برودة من رقعة الأقحوان الأسود. تحدد التجمعات النسبية للأقحوان الأبيض والأسود متوسط درجة الحرارة العالمية. بالنسبة لإضاءة معينة للنجم المضيف، يقوم العدد النسبي للأقحوان بضبط نفسها لتوفير أفضل درجة حرارة عالمية لنمو الأقحوان.

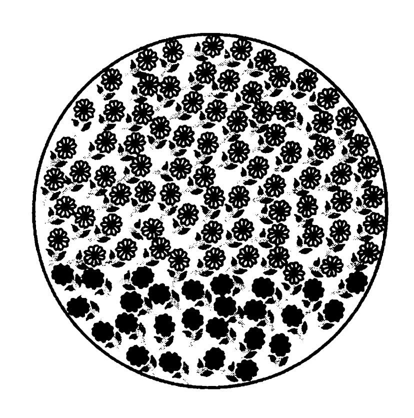
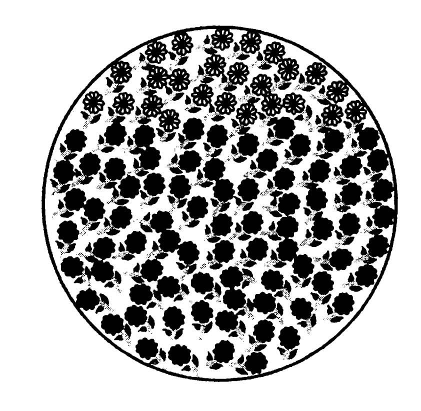
---

(١) انظر:

J. Lovelock, *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth* (New York: W. W. Norton & Company, 1988), and J. Lovelock, *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine* (Oxford: Oxford University Press, 2000).

(٢) إذا كنّا نجد ما يدفعنا للإشادة بفرضية غايا، فإننا لا نتفق مع كل الاستنتاجات التي يستمدّها لوفلوك ومؤيديه منها. ولا نوافق على استدعاء نظام الأرض بـ«الكائن الفائق» أو رفعه إلى مرتبة ميتافيزيقية، أو أن نعتبر البشر «عملاء مرض مُعدٍ». كما أننا نعارض توصيف لوفلوك أن الحاضر في حالة «حمى»، في حين أن العصور الجليدية «صحية»؛ والدليل الذي قدمناه في الفصل الثاني ينفي بشدة هذا الرأي.

(٣) A. J. Watson and J. E. Lovelock, "Biological Homeostasis of the Global Environment: The Parable of Daisyworld," *Tellus* 35 B (1983): 284-289. The most recent study is by T. M. Lenton and J. E. Lovelock, "Daisyworld Revisited: Quantifying Biological Effects on Planetary Self-Regulation," *Tellus* 53 B (2001): 288-305.

• الشكل ٤,١: لقطتان من كوكب ديزي ورلد الافتراضي. عندما يبدو النجم المضيف خافتاً، يكون الأقحوان الأسود سائداً؛ وعندما يكون مشرقاً، يسود الأقحوان الأبيض. بهذه الطّريقة يحافظ العدد النسبي المتغير من نبات الأقحوان الأبيض إلى الأسود على درجة حرارة كوكبية مستقرة، حتى مع إشراق نجمها المضيف على مرّ الزمن.

لنفترض الآن أن النجم المضيف بدأ يضيء تدريجيّاً. تجلب زيادة الضوء بقع الأقحوان الأبيض بالقرب من درجة الحرارة الذي يفضلها، مما يحفزه على التعدد، ترتفع درجة حرارة المناطق التي يشغلها الأقحوان الأسود مما يبعده عن معدل درجة الحرارة الأمثل للنمو، لذلك فإن عدده يتراجع. بشكل إجمالي، يرتفع إذن عدد الأقحوان الأبيض بينما يتناقص عدد الأقحوان الأسود، وبالتالي يعكس الكوكب مزيداً من الضوء نحو الفضاء أكثر من ذي قبل. يبقي هذا درجة حرارة ديزي ورلد ثابتة، حتى مع إضاءة نجمه المضيف(١)

على الرغم من نموذج ديزي ورلد، إلا أنه يبقى مجرد رسم توضيحي - فالمحيط الحيوي للأرض أكثر تعقيداً وأكثر ذهولاً تذكر أن الجزء المفتاح في دورة الكربون هو معدل التجوية الكيميائية للسطح الصخري بواسطة ثنائي الكربون المذاب في ماء المطر، مكوناً حمضاً ضعيفاً. يمكن أن يحدث هذا

---

(١) تكون هذه المرونة أكثر فعالية عندما يتواجد كلا النوعين من الأقحوان. يتطلب استقرار ديزي وورلد أن يكون نمو الأقحوان أفضل عند درجة حرارة محددة؛ وهذا أمر معقول؛ لأن الأقحوان الحقيقي لا ينمو في مناخ القطب الشمالي أو الصحراء. وأية كائنات حية أخرى على الكوكب تتطلب درجات حرارة مماثلة يمكن أن تستفيد من هذا القانون.

التفاعل من دون حياة، ولكن النباتات والأشجار، والحياة البحرية الصغيرة تسرعها بشكل كبير[١]؛ لأن كلّاً من درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون يحفز التجوية الكيميائية، وبشكل مفارق إلى حد ما، يسارعان إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، التي تخفض من ظاهرة الاحتباس الحراري. ومثل ديزي ورلد، فإن أشجار الأرض ونباتها تغير المحلي بواسطة أوراقها السوداء، وتبخر المزيد من الماء، مما يبرد سطح الأرض عن طريق رسم الستائر، بمعنى، زيادة الغلاف السحابي.

أدرك العلماء مؤخراً روابط هامة أخرى بين الحياة والمناخ العالمي. تتضمن إحدى هذه الروابط تشكل نواة التكثيف السحابي (cloud condensation nuclei-CCN)، جزيئات صغيرة في الغلاف الجوي يمكن للماء أن يكثفها على شكل قطرات سحابة. ومع أن الـCCN تُنتَج عن طريق العمليات الطبيعية والبشرية، كان **لوفلوك** من بين أول من ربط الـCCN المنتجة بيولوجيّاً بالمناخ[٢] تنتج العوالق النباتية كـ«الإميليانية الهكسلية» ثنائي ميثيل كبريتيد، الذي يعتبر الخطوة الأولى في السلسلة الكيميائية لبناء الـCCN. تستجيب العوالق النباتية سطح محيط درجة حرارته مرتفعة، بإنتاج المزيد من كبريتيد ثنائي الميثيل، مما يساهم في تركيز المزيد من الـCCN، ويعزز من الألبيدو من السّحب الطباقية الخفيضة البحرية (marine stratus clouds). يؤدي عكس المزيد من الضوء نحو الفضاء إلى تبريد المحيط بالأسفل. تحفز المستويات العليا لثاني أكسيد الكربون كذلك إنتاج كبريتيد ثنائي الميثيل والـCCN[٣]

---

(١) R. A. Berner, "Paleozoic Atmospheric CO_2: Importan ce of Solar Radiation and Plant Evolution," *Science* 26 (1993): 68-70.

(٢) R. J. Charlson, J. E. Lovelock, M. O. Andrea, and S. G. Warren, "Oceanic Phytoplankton, Atmospheric Sulfur, Cloud Albedo, and Climate," *Nature* 326 (1987): 655-661.

وهذه هي أحدث المنشورات:

R. J. Charlson, et al., "Reshaping the Theory of Cloud Formation," *Science* 293 (2001): 2025-2026.

إذا كان تشارلسون وزملاؤه محقين في تقييمهم لأهمية ارتداد السحب فإن الاحترار المتوقع للقرن المقبل قد لا يتحقق.

(٣) قدمت الدراسات الحديثة لإنتاج ثنائي ميثيل الكبريتيد (DMS) من طرف العوالق النباتية دعماً تجريبيّاً =

يساهم كل هذا في خلق مناخ يتيح لنا رؤية النجوم البعيدة والمجرات من سطح الأرض. ولكن هذا الوضوح لا يدوم أبداً، نعلم من عينات الجليد والعينات البحرية أن الفترات الجليدية، كان يتخللها الكثير من الغبار والرياح من الحاضر(١) لذلك فحتى لو كانت المناطق الداخلية القارية أقل تلبّداً بالسّحب، فلا بد من غلاف جوي مليء الغبار أكثر للموازنة.

يفضل علماء الفلك بضع ليال غائمة تتخللها ليال واضحة لظروف الغبار والرياح المستمرة. يقوم الغبار بحجب ضوء النجوم فيصبح من الصعب جدّاً معايرة الملاحظات. كما أنه يحطم الأدوات البصرية. تملك المراصد قواعد صارمة تتعلق بالمستويات القصوى للغبار والرياح المسموح بها قبل أن تكون مجبرة على الإغلاق؛ فمثلاً، يتعامل علماء الفلك في جزر الكناري غالباً مع الغبار الذي يهب من الصحراء. عندما يفقد علماء الفلك بضع ليال غائمة على مستوى مراقبة، ينبغي عليهم أن يشكروا نجومهم المحظوظة التي لم تولد قبل مجرد اثنتي عشرة ألف سنة.

وبينما لا تزال تركيبته الدقيقة تنفلت من أنظارنا، فإنه من الواضح أن الجو القديم للأرض كان مختلفاً تماماً من الجو الحالي؛ كان على وجه الخصوص، أكثر اختزالاً، ما يعني: أنه كان يحتوي على المزيد من الهيدروجين. كان مقدار الأوكسجين ضئيلاً، وربما كان ثاني أكسيد الكربون والميثان أكثر وفرة. كان ليبدو هذا الغلاف الجوي الأرضي القديم كنسخة

= قوياً لنظرية لوفلوك. انظر:

G. P. Ayers and R. W. Gillett, "DMS and Its Oxidation Products in the Remote Marine Atmosphere: Implications for Climate and Atmospheric Chemistry," *Journal of Sea Research* 43 (2000): 275-286.

(١) لا يمكننا أن نعرف بعدُ، كم كانت الأرض غائمة خلال الفترة الجليدية الماضية. وتحديد مدى وضوح الغلاف الجوي في الماضي البعيد صعب قليلاً، لعدم وجود أي بدائل للتغيم. لكن هناك أدلة غير مباشرة. يمكن للمرء أن يحاول ربط محتوى الهباء الجوي في الجليد القطبي المعروف لأهميته في الـCCN بالنسبة للتغيم. لكن هذا قد يكون غامضاً بعض الشيء؛ لأن ترسب الهباء الجوي في الجليد سيعتمد كذلك على سرعة الرياح فوق المحيطات المحيطة بالمناطق القطبية. وهناك مقاربة أخرى تستخدم المحاكاة الحاسوبية للمناخات القديمة على أساس الظروف العالمية المسجلة في العينات الجليدية. وربما تتجاوز هذه الدراسة فهمنا الحالي لجميع العمليات المتعلقة بتشكل السحب.

أكثر حرارة من الغلاف الجوي الحالي لتيتان، وهو القمر الأكبر حجماً من بين أقمار زحل. تميل الأشعة فوق البنفسجية للشمس إلى تشكيل جزيئات هيدروكربونية أكثر تعقيداً، في مثل هذا الجو الأكثر اختزالاً، تاركاً وراءه ضباباً كثيفاً حول الكوكب[١] وقد أزيح هذا الضباب على الأرجح بارتفاع الأوكسيجين منذ حوالي ملياري سنة.

إن التنوع الكبير للسطوح وعمليات التغذية الراجعة لا يحقق فقط أقصى قدر من تنوع أوجه الحياة، ولكنه يعزز أيضاً الاكتشافات العلمية. تذكر أن جميع عمليات التسجيل الطبيعية التي تمّ وصفها في الفصل السابق تتطلب الدورة الهيدرولوجية. ولعلك تميل إلى الاعتقاد بأن السّحب أو الغلاف الجوي من أي نوع يضرب بعملية قياس الكون. ألن يكون من الأفضل ألا يكون لنا غلاف جوي أو على الأقل، جو، يخلو من السّحب؟ حتى إن تناسينا مشكلة الغبار، الذي يُعد في حدٍّ ذاته موازنة مع التلبد بالسّحب وظواهر القوس قزح، فإن هذا السيناريو يتجاهل المزايا المضافة إلى غلاف جوي كالذي يتوفر عليه كوكب الأرض. يضم الغلاف الجوي للأرض، من خلال توفير دورة هيدرولوجية مع كونه لا يزال شفّافاً في الجزء نفسه من الطيف؛ حيث تبعث معظم النجوم بمعظم ضوئها، العوامل المتنافسة لتحقيق أفضل حل وسط شامل لقياس الكون. يعطينا إذن الغلاف الجوي الحالي للأرض، إمكانية وصول استثنائية ليس فقط إلى الماضي ولكن أيضاً إلى الكون الشاسع، بينما يحافظ على بيئة راعية للحياة. ومثل العمليات الطبقية التي نوقشت سابقاً، ليس هناك سبب يدعو لافتراض أننا مكيفون بشكل خاص لحل هذه المعلومات؛ لأن ذلك لا يمنحنا أي ميزة للبقاء على قيد الحياة ـ وهو ما يصح حتى وقت قريب.

---

(١) A. A. Pavlov, L. L. Brown, and J. F. Kasting, "UV Shielding of NH3 and O2 by Organic Hazes in the Archean Atmosphere," *Journal of Geophysical Research* 106 (2001): 267.23-288.23; A. A. Pavlov et al., "Organic Haze in Earth's Early Atmosphere: Source of Low-13C Late Archean Kerogens?" *Geology* 29 (2001): 1003-1006.

وحسب هذه الدراسات، لَعِب الغبار العضوي دوراً مشابهاً لدور الأوزون في الغلاف الجوي الحالي، في تدريع الأرض من الأشعة فوق البنفسجية الخطرة.

التخطيط على المدى البعيد:

الغريب أن الغلاف الجوي الشفّاف للأرض يوفر مزايا البقاء على قيد الحياة لحضارة متقدمة بما يكفي لاستخدام المعلومات المخزنة، ولكنها متأخرة جدّاً عن أن يتم تفسيرها بالمصطلحات الداروينية[١] على سبيل المثال: تسمح شفافية الغلاف الجوي، خاصة بالنسبة للقياسات الفلكية عالية الدقة (ذات مواضع قياس في السماء) من الأجسام البعيدة، لعلماء الفلك لإعداد فهرس للأجسام القريبة من الأرض، (NEOs-near earth objects)، التي تشمل كذلك الكويكبات والمذنبات القريبة من الأرض. تتوفر الـNEOs مدارات عابرة للأرض، مما يعني: أنها قد تصطدم بنا.

حاليّاً، حوالي ١٢٥٠ من الـNEOs هي الآن معروفة، تمّ اكتشاف معظمها في السنوات القليلة الماضية[٢] يعتمد مدى الضرر الناجم عن تأثير الـNEO على الأرض على حجمه. يعتبر الـNEO الذي يقدر قطره بكيلومترين، بينما يعتبر الذي يقدر قطره ما بين ١٠ و١٥ كلم «حدث انقراض العصر الطباشيري ـ الثلاثي K/T event»؛ كالذي قضى على الديناصورات قبل ٦٥ مليون سنة[٣] يعتقد أن أحداث K/T تحدث مرة واحدة كل ٥٠ إلى ١٠٠ مليون سنة. هناك فرصة ١ في المئة أن يصطدم NEO ذو الكيلومترين في فترة زمنية مدتها ١٠٠٠٠ سنة، وفرصة ٥٠ في المئة بالنسبة لذي مائتي متر أن

---

(١) يمكن للمرء أن يجادل بأن المستكشفين من السنوات الماضية استفادوا من الملاحة النجمية، لكن من غير المحتمل أن يكون الجنس البشري قد نجا بفضل ذلك.

(٢) تعد الناسا بالتعاون مع سلاح الجو الأمريكي الداعم الرئيسي لبحوث الـNEO في الوقت الحاضر (http:/neo.jpl.nasa.gov) ويعتبر مشروع (LINEAR) أكثر البرامج إنتاجية حاليّاً. (http:/www.ll.mit.edu/ LINEAR/) تلتزم وكالة ناسا باكتشاف ٩٠ في المائة من منشآت الطاقة النووية التي يزيد قطرها عن كيلومتر واحد بحلول عام ٢٠٠٨م. انظر أيضاً:

"Sources of the Asteroid Threat," *Sky & Telescope* 100 (December 2000): 32-33.

(٣) O. B. Toon, et al., "Environmental Perturbations Caused by the Impacts of Asteroids and Comets," *Reviews of Geophysics* 35 (1997): 41-78; C. R. Chapman, "Impact Lethality and Risks in Today's World: Lessons for Interpreting Earth History," in Proceedings of the Conference on Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond, Vienna Snowbird IV Conference, *Geological Society of America Special Paper* (2001).

يصطدم في نفس الفترة الزمنية. وفي الحالة الأخيرة، يمكن أن تسبب موجات تسونامي هائلة ضرراً شديداً بإغراق المناطق الساحلية.

يعتقد أن حدث تونغوسكا (Tunguska event) في سيبيريا عام ١٩٠٨م قد نتج عن انفجار في الغلاف الجوي لكويكب (يبلغ قطره) نحو ٥٠ متراً أو جزء من مذنب، هو المثال الوحيد الموثق بشكل جيد للاصطدامات المدمرة في سجل التاريخ. حدث هذا الانفجار ذو الـ١٥ ميغا طن (مليون طن) على مستوى منطقة غير مسكونة تقريباً في سيبيريا. لولا هذه التجربة الطبيعية المثيرة للقلق (وبُعد مسافة اصطدام مذنب شوميكر ـ ليفي ٩ بكوكب المشتري سنة ١٩٩٤م)، لما أخذنا تهديدات الاصطدامات على محمل الجد[1] يبدو أن المذنبات تصطدم عادة بالأرض بتواتر أقل مقارنة بالكويكبات، لكن يبدو أن الاصطدامات العادية للمذنبات أكثر تدميراً بسبب سرعتها الكبيرة. ألهم هيل ـ بوب (Hale-Bopp) ـ وهو ألمع مذنب مرئي بشكل واضح منذ القرن السادس عشر ـ الناس حول العالم سنة ١٩٩٧م. (انظر: اللوحة ٩). من الممكن أن نفهم لماذا كان منظر كهذا مصدر إلهام وخوف للشعوب القديمة. أما اليوم، فنحن نخشى المذنبات لسبب مختلف. لو أن هيل ـ بوب اصطدم بالأرض بطاقة أكبر بمائة مرة من حدث الانقراض (K/T extention event)، لكان قد أباد كل شيء باستثناء الجراثيم الأكثر تحملاً[2]

هذه هي الأخبار السيئة. أما الأخبار السارة فهي أننا نستطيع حماية الأرض من اصطدام مدمر إذا كان في وسعنا اكتشاف NEO يتوجه نحونا بمهلة

---

(١) كان حدث تونغوسكا تجربة طبيعية بطرق أخرى. والأكثر إثارة للاهتمام، أن الغابة تحت الانفجار سجلت نمط موجات الضغط التي ولدتها. شكّل نمط سقوط الشجرة شكُل فراشة؛ بلغ طول كل «جناح» خمسة وعشرين ميلاً. يمكننا مثل هذا النمط من تقدير زاوية دخول الجسم وتحمله، وارتفاع انفجاره وحجمه.

(٢) دخل هيل بوب مدار الأرض عند مرورها القريب من الشمس في أبريل ١٩٩٧م (ولكن على الجانب الآخر من الشمس)، لذلك كان من الممكن أن يصطدم بنا لو أن توقيته كان مناسباً. وقد مر المذنب هيكوتيك (Hyakutake) وهو ألمع مذنب لعام ١٩٩٦م، قريباً جداً من الأرض (بمسافة ١٠ في المائة فقط من المسافة بين الأرض والشمس) لكنه كان أصغر في حدِّ ذاته.

كافية من الوقت. سمحت الملاحظات خلال بضع سنوات للفلكيين بالتنبؤ بالموضع الدقيق للـNEO لبضع عقود في المستقبل. الأمر يختلف بالنسبة للمذنبات؛ لأن الفلكيين يكتشفونها قبل بضع أشهر فقط من مرورها عبر النّظام الشّمسي الداخلي. لكن هذا يمكن أن يعطينا بعض الوقت للتحضير مع تطور التكنولوجيا، لذلك فنحن نمتلك القدرة على الاستجابة.

لو كان غلافنا الجوي مغطى تماماً بالسّحب أو نصف شفاف، لما علمنا عن تأثير التهديدات إلا بعد فوات الأوان. ولما تمكنا من أن نطور برنامجاً فضائيّاً، والذي يعتبر شرطاً أساسيّاً للتصدي لـNEOs. ولو كان الغلاف الجوي أكثر سماكة، ولكن شفّافاً بشكل جزئي، لكانت التشوهات الإضافية للصور التليسكوبية لتحد على نحو صارم من قدرتنا على تصنيف هذه الأجسام البعيدة. لذلك نرى مرة أخرى الحياة والاكتشاف يمشيان جنباً إلى جنب. من الواضح أن الكويكبات والمذنبات الكبيرة لو كانت تقصف الآن الأرض، فإن كوكبنا سيكون مروعاً جدّاً. ولكن الغريب في الأمر، أن هذه الأجسام المارقة في النّظام الشّمسي كانت ذات أهمية في وقت مبكر، ليس فقط بالنسبة لصلاحية الحياة المستقبلية بل لقابلية القياس الحاضرة أيضاً. فكما أن مراقبة الأجسام البعيدة عنا ذا قيمة بالنسبة لنا فإن سقوط أجزاء من السماء علينا سيتيح الفرصة للمعاينة المباشرة.

صخور الفضاء:

في ١٨ يناير من سنة ٢٠٠٠م، شقَّت كرة نارية السماء، كسر انفجارها صمت الصباح الباكر في يوكون المتجمدة وأيقظ سكانها النيام. فتتبعتها الأقمار الصناعية الدفاعية في الفضاء وأكدت أن مصدرها يقع خارج الأرض. تخلّف أثرها على شكل دخان في السماء لمدة يوم كامل كابتسامة القط شيشاير. وكان هذا أكبر نيزك مشرق، يدعى بالشهاب المتفجر، تمّ اكتشافه على الأرض في عشر سنوات. وبعد بضعة أيام، بحث شخص مقيم بالقرب من وايت هورس (Whitehorse)، بيوكون، في بحيرة تاغيش (Tagish Lake) المكسوة بالجليد،

ووجد العديد من الشظايا للزائر الفضائي[١]، واليوم، تجلب شظايا بحيرة تاغيش القليلة مبلغاً كبيراً في السوق. وعلماء الأحجار النيزكية على استعداد لدفع مبالغ طائلة مقابل شظايا النيازك، ليس لأنها نادرة فحسب، ويصعب تحديد موقعها؛ بل لأنها تحتوي على معلومات فريدة وهامة. إن علماء الفلك واثقون إلى حدٍّ ما من فهمهم لكيفية شق معظم النيازك طريقها طريقها إلى الأرض.

ففي الأساس، النيازك عبارة عن شظايا من أجسام كبيرة أصلية منفصلة في حزام الكويكبات الذي يقع بين مداري المرّيخ والمشتري. أكبر أعضائه حجماً هو سيريس (Ceres)، وهو ضخم حيث يقدر قطره بألف كيلو متر. ولا يزال هناك الآلاف من الكويكبات الصغيرة في الحزام التي تخلق ما يكفي من الحركة والازدحام بما يجعل الاصطدامات أمراً شائعاً فيه إلى حدٍّ ما. يمكن لاصطدام واحد أن ينتج الآلاف من الشظايا بحجم الصخور. يجول بعضها في مجالات غير مستقرة. فتتجاوب مع مدار كوكب المشتري. تشوش جاذبية كوكب المشتري جسماً يقع ضمن هذه المجالات في نفس الجزء من مداره في كل مرة يكمل دائرة حول الشّمس[٢] بمجرد أن يصبح

---

(١) من المادة الإخبارية:

"Yukon Meteorite Bonanza", *Sky & Telescope* 99 (June 2000): 22.

كان هذا هبوطاً محظوظاً؛ لأنه من السهل رؤية النيازك الداكنة على خلفية بيضاء من الثلج والجليد. أنتجت الصحاري وحقول الجليد في القارة القطبية الجنوبية العديد من العينات الجيدة. ومع ذلك يفضل الباحثون عن النيازك حقول الجليد؛ لأنهم يستطيعون أن يختاروا بسهولة صخور الفضاء المظلم على الخلفية البيضاء المُزْرقّة. والأكثر من ذلك أن مصبّ الجليد على السلاسل الجبلية يُركّز النيازك على السطح، بينما تساعد درجات الحرارة الباردة والانفصال عن الغلاف الجوي على التقليل من تآكلها. لمراجعة المصدر الأصلي لجمع النيازك في القارة القطبية الجنوبية، انظر:

B. Livermore, "Meteorites on Ice," *Astronomy* 27 (July 1999): 54-58.

انظر أيضاً الحساب الشخصي المقروء لـ:

Guy Consolmagno, *Brother Astronomer: Adventures of a Vatican Scientist* (New York: McGraw-Hill, 2000).

(٢) كشفت ملاحظات الآلاف من الكويكبات عن عدد قليل جدّاً من الأجسام التي تحتل ما يسمى بفجوات كيركوود (Kirkwood gaps)، مُحقِّقةً النظرية. يكون جسم كوكبي في رنين مع جسم آخر عندما تكون نسب فتراتهم المدارية قيماً صحيحة بسيطة. يشوّش زوج في رنين من الأجسام الكوكبية على مدارات بعضهما؛ لأن اقترابهما يحدث في نفس المواقع من مداراتهما. كلما كانت الأعداد الصحيحة أصغر، كانت الاضطرابات أكبر. وهكذا، من بين فجوات كيركوود، يتميز رنين ٢:١ بتأثير أكبر مقارنة برنين =

مداره مضطرباً وأقل استدارة، أو بمعنى آخر: «أكثر غرابة»، تبدأ الشظايا بزيارة النّظام الشّمسي الداخلي. وتلك التي تتقاطع مع مدارات الأرض يمكن أن تصطدم بنا[١] عندما تقترب شَظِيَّة من الأرض، تبدأ درجة حرارة السطح بالارتفاع نتيجة احتكاك الذرات في غلافنا الجوي. أما نحن فننظر إليه على أنه قدوم شهاب. إذا كان كبيراً بما فيه الكفاية، فإنه يشق طريقه إلى الأرض كنيزك.

تنتمي شظايا بحيرة تاغيش إلى نوع سابق غير معروف من النّيازك. يمكن للفلكيّين تحديد فئة من نيزك بواسطة كويكب خاص أو فئة من الكويكبات بمقارنة بصماتها أطيافها الواسعة. إذا كان لديها انعكاسات طيفية مماثلة، يستنتج الباحثون أن لهم تراكيب مشتركة، وبالتالي مصدراً مشتركاً. وبناء على هذا التّحليل، توصّل الباحثون مبدئيّاً إلى تحديد نيازك بحيرة تاغيش بواسطة كويكبات من نوع ـ D، والتي تميل إلى أن تتوارى في المراكز الخارجية الباردة من حزام الكويكبات[٢] وتحافظ على بعض من معظم المواد الأولية من النّظام الشّمسي القديم.

إذن؛ لماذا النّيازك في غاية الأهمية؟ بالنّسبة للمبتدئين، تحتوي النّيازك على عيّنات النّظام الشّمسي القديم، وهذه الموادّ ليست متوفّرة في الأجسام الكوكبية المتجانسة. كلّما كان الجسم كبيراً، كان من السّهل ارتفاع درجة حرارته، وبالتّالي كان باطنه أكثر ديناميكية. تأتي بعض النّيازك من الأجسام

= ٥ : ٢. لمراجعة تمهيدية عن الكويكبات وكيفية تأثرها بالرنين المداري، انظر:

R. P. Binzel, "A New Century for Asteroids," *Sky & Telescope* 102 (July 2001): 44-51.

(١) بالإضافة إلى رنين الكواكب العملاقة، يسهل نقل المواد الكويكبية إلى الكواكب الداخلية بفعل تأثير ياركوفسكي (Yarkovsky effect). ينتج هذا التأثير عن قوة الارتداد على كويكب دوّار من انبعاث الإشعاع الحراري. ويمكنه أن يغير بشكل كبير المسافة المدارية المتوسطة للكويكب على مقاييس زمنية تقدر بمليون سنة تقريباً. انظر:

J. Spitale and R. Greenberg, "Numerical Evaluation of the General Yarkovky Effect: Effects on Semimajor Axis," *Icarus* 149 (2001): 222-234.

(٢) T. Hiroi, C. Pieters, and M. Zolensky, "The Tagish Lake Meteorite: A Possible Sample from a D-Type Asteroid," *Science* 293 (2001): 2234-2236.

الأصلية الكويكبية التي تباينت بشكل واضح؛ نزلت المعادن (معظمها من الحديد والنّيكل) إلى المركز، تاركة وراءها الموادّ الحجرية في القشرة. وهذه لا تحافظ على المعلومات حول الظّروف قبل تشكيل الكويكب. في المقابل، بما أنّ الأنواع الأولية للنّيازك، الكوندريت الكربونية، تأتي افتراضاً من أجسام أصلية غير متمايزة، فهي الأكثر ثمناً.

حتى أوائل السبعينات، يعتقد معظم علماء الأحجار النيزكية أن العمليات العنيفة الذي شكلت الأجسام في النّظام الشّمسي يمكن أن تذيب وتجانس أي حبيبات بينجمية قبل شمسية (pre-solar interstellar grains) يصعب التعرف عليها. لذلك تفاجئوا لما اكتشفوا أن بعض الحبيبات ميكرونية الحجم في النيازك الأولية تظهر نسب النظائر المتعارضة مع أصل في جسم أصلي متشكل. وهذا يعني: أن بعض الأجسام الصغيرة في النّظام الشّمسي تحتوي على مادة سابقة على نشوء الكواكب وحتى الشّمس. تحمل هذه الحبيبات أدلة فريدة عن التاريخ الكيميائي لمجرة درب التبانة، أدى اكتشافها إلى حقل جديد تماماً في الفيزياء الفلكية. وتعتبر نيازك بحيرة تاغيش مثلاً جيداً؛ لأنها تحتوي على حبيبات الغبار البينجمية أكثر من أي عينات أخرى.

يتمّ تجميع الحبيبات البينجمية بحسب أنواعها المعدنية الإجمالية ونسب النظائر المختلفة(١) لا يربط علماء الفلك النيازك الفردية بأنواع محددة من

---

(١) تضمّ أنواع المعادن الإجمالية كربيد السيليكون، نانودياموندز، الجرافيت، أكسيد الألمونيوم، وSi3N4. وتشتمل النظائر على الكربون، والنيتروجين، والأكسجين، والألومنيوم، والسيليكون، وبعض العناصر الثقيلة. للاطلاع على مراجعة حديثة مستفيضة لموضوع الحبيبات قبل الشمسية انظر:

E. Zinner, "Stellar Nucleosynthesis and the Isotopic Composition of Presolar Grains from Primitive Meteorites," *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 26 (1998): 147-188; L. R. Nittler, "Presolar Stardust in Meteorites: Recent Advances and Scientific Frontiers," *Earth and Planetary Science Letters* 209 (2003): 259-273.

ومع ذلك، تشير الأبحاث الحديثة إلى أن معظم الماس النانوي الموجود في النيازك قد تشكل في السديم الشمسي المبكر. انظر:

Z. R. Dai et al., "Possible in situ Formation of Meteoritic Nanodiamonds in the Early Solar System," *Nat-* = *ure* 418 (2002): 157-159.

الكويكبات فقط؛ بل بإمكانهم أيضاً أن يربطوا النيازك الفردية بأنواع معينة من المصادر في درب التبانة. فعلى سبيل المثال. يبدو أن معظم حبيبات كربيد السيليكون تأتي من نجوم الفرع المقارب العملاق (AGB)؛ وهي نجوم مضيئة جدّاً وباردة قريبة من نهاية حياتها ـ وتأتي معظم الأنواع الأخرى من النجوم المتفجرة، ونجوم الفرع المقارب العملاق، وربما من بعض النجوم المستعرة (novae). يمكن للفلكيين أن يعلموا هذا جزئيّاً؛ لأن بعض نسب النظائر التي بإمكانهم قياسها في الحبيبات البينجمية يمكن قياسها أيضاً في الأغلفة الجوية النّجمية[١] بما أن الحبيبات البينجمية أتت مجتمعة في النيازك في زمان ومكان نشأة النّظام الشّمسي، نقطة متناهية الدقة في المجال الواسع لمجرة درب التبانة، يعتقد أنها تشكل عينة من التاريخ السابق كله للمجرة ومنطقة واسعة نسبيّاً من الفضاء. وبفضل توفرهم على نسب النظائر وأنماط الوفرة الذرية، يمكن للفلكيين تحديد مزيد من التفاصيل حول تراكم العناصر داخل النجوم ـ يسمى بالتخليق النووي النجمي ـ والتطور الكيميائي المجرّي أكثر مما يمكنهم مع توفر إحداهما فقط. من المثير للاهتمام كيف أن هذين المصدرين الأوليين من المعلومات يكملان بعضهما: توفر لنا الحبوب البينجمية نسب النظائر فقط، في حين تعطينا النجوم في الغالب الوفرة الذرية. والأكثر من ذلك، أنها تشترك بشكل كبير في الزمن والفضاء.

= ومع ذلك لاحظ هؤلاء الكُتّاب أن جزءاً من الماس النانوي في عيناتهم قبل شمسي على الأرجح. ويشيرون إلى أن «تحديد حبيبات كربيد السيليكون (SiC) في النيازك آمن.» ليس بسبب تركيباتها ١٣ C/12C غير الشمسية فحسب؛ بل أيضاً لأن الخصائص الطيفية الفلكية الناتجة عن حبيبات ال SiC قد لوحظت في تدفقات النجوم المتقدمة الغنية بالكربون. وفي المقابل، لا تزال هناك أدلة بَيِّنة على وجود الماس النانوي في الوسط البينجمي في حاجة إلى تأكيد قاطع». (١٥٨).

(١) على وجه الخصوص، يمكنهم قياس نسبة النظائر المهمة الكربون ـ ١٢ إلى ـ ١٣ في الحبيبات وفي الأغلفة الجوية للنجوم الباردة (يمكن أن تقاس نسب نظائر الأوكسجين والماغنيسيوم أيضاً في أطياف بعض النجوم). تقارن طريقة أخرى النسب النظيرية مع «التخليق النووي النجمي» النظري، الذي هو نتاج عن طريق التفاعلات النووية في درجات الحرارة والضغوط العالية الموجودة داخل النجوم.



● الشكل ٤,٢: عالم الفلك دونالد براونلي (جامعة واشنطن) حاملاً لنيزك كتلته ٢٠٠ غرام من المرّيخ، مع كوني نيشيومي (بيركلي) حاملاً لنيزك كتلته ٣٠٠ غرام من القمر، في مقهى أسترويد في سياتل. تمّ العثور على كل من الصخرتين في شمال إفريقيا خلال العامين الماضيين.

لا يزال لدينا الكثير لنتعلمه عن الحبيبات البينجمية. بطريقة أو بأخرى، تتشكل الحبيبات في الرياح الخاصة بنجوم AGB أو في حطام انفجارات السوبر نوفا، فتجول عبر الفضاء لملايين أو بلايين السنين، وتندمج مع بعضها البعض في البيئة الكثيفة لسحابة جزيئية عملاقة، ثم تنجو من الصدمة الأولى لتكوين الأرض، لتنتهي على جرف النيازك. ونتيجة لذلك، نستطيع أن نحمل في يد واحدة صخرة بكتلة رطلين أو ثلاثة تحتوي على الآلاف من الحبيبات قبل الشّمسية الأصلية، ربما تنحدر كل واحدة من نجم مختلف!

الكويكبات، والمذنبات، وكوكب المشتري، والحياة على الأرض:

يتطلب إيصال النيازك على سطح الأرض سلسلة مضبوطة بشكل دقيق من الأحداث. وبصرف النظر عن الحفاظ على الحبيبات قبل الشّمسية في المراحل الأولى لتكوين كوكب الأرض، الذي لم نفهمه بعد جيداً، يجب ألا تندمج وتتدخل الأجسام الأولية الصغيرة في النّظام الشّمسي الداخلي بالأجسام الأكبر منها؛ لأنه خلافاً لذلك سوف تنمحي هويتها المميزة بواسطة باطن ساخن

وديناميكي لكوكب ما. تشير المحاكاة الحاسوبية الأخيرة للجاذبية للنظام الشّمسي القديم إلى أنّ حزام الكويكبات قد فقد نحو ٩٩,٩ في المئة من كتلتها الأصلية. من المرجح أن عدة أجسام بحجم القمر والمرّيخ تتوارى ضمن المنطقة الواقعة بين المشتري والمرّيخ، مما يؤدي إلى التشويش على معظم الأجسام الصغيرة خلف أصداء المشتري وزحل[١] وبمجرد أن تصل هناك تصبح مدارات الكويكبات أكثر غرابة مما يسمح لها بزيارة الكوكب الأرضي المجاور أو مدار المشتري. فيطرحها هذا الأخير كالعادة خارج النّظام الشّمسي.

لكن بعضاً من حطام الكويكبات المنتشرة انتهى بها الأمر على الأرض، تفيض عليها بمعظم عناصرها الأساسية للحياة والمواد العضوية البسيطة[٢] وفي آخر المطاف، أزالت جاذبية المشتري الأجسام الكبيرة التي تمّ التشويش على مساراتها من منطقة حزام الكويكبات. وتعتبر تفاصيل تشكل كوكب المشتري بالغة الأهمية في هذا كله. فمن جهة، إذا تشكّل في وقت سابق قليلاً، أو كان ضخماً أكثر من ذلك بقليل، أو كان ذا مدار غريب غير بيضاوي الشكل، فالراجح أن قلة من الكويكبات كانت لتبقى كي توفر ما يكفي من الكربون للأرض. وكانت ستحدث نفس المشكلة لو أن المشتري لم يخل

---

(١) J. E. Chambers and G. W. Wetherill, "Planets in the Asteroid Belt," *Meteoritics & Planetary Science* 36 (2001): 381-399.

(٢) ما الكربون إلا عنصر تتبع في الأرض السائبة. ولو أنه لم ينقل إلى سطح الأرض قرب نهاية تشكلها بواسطة الكويكبات والمذنبات، ما يكفي من الكربون بالقرب من السطح حتى تزدهر الحياة. تم نقل الماء أيضاً إلى سطح الأرض بواسطة الكويكبات. تحتوي بعض الكويكبات على كميات كبيرة من الماء المرتبط كيميائيّاً في المعادن (يسمى بالتّهدرج hydration). بمجرد أن تتهدرج، يمكن للمعادن في الكويكبات أن تحفظ ماءها بشكل أفضل مما لو لم يكن الماء في شكله المهدرج. تتطلب هدرجة المعادن بالماء ظروفاً خاصة. وتتجلى إحدى الإمكانيات في أن النظائر المشعة قصيرة الأمد الموجودة في التاريخ المبكر جدّاً للسديم الشمسي قد سخنت العناصر الكويكبية الأساسية بما يكفي لحدوث التهدرج. والإمكانية الأخرى هي أن موجات الصدمة في الغاز قد وفرت ما يكفي من التسخين وضغط بخار الماء لهدرجة المعادن في الغبار. وربما يكون المشتري مصدر موجة الصدمة. انظر:
F. J. Ciesla et al., "A.Nebular Origin for the Chondritic Fine-Grained Phyllosilicates," *Science* 299 (2003): 549-552.

منطقة حزام الكويكبات من الكواكب؛ لأنه كان من الممكن أن تُخلي هذه الكواكب، بدورها الكثير من الكويكبات. من جهة أخرى، إذا كان المشتري قد تشكّل في وقت لاحق أو كان لديه كتلة أصغر بكثير، فربما سيبقى الكثير من الكويكبات، بيد أن الكبيرة منها ستضرب الأرض ضرباً مُتتابعاً بما يمنع الحياة من التواجد(١)

تعتبر الكويكبات مساهمات بارعة في صلاحية الحياة على الأرض؛ إذ إننا نحتاجها في وقت مبكر لإيصال الماء والمواد العضوية، لا في وقت لاحق متأخر جدّاً، ذلك أنها تتسم بنزعة غير مناسبة لإبادة الحياة. تركت لنا هذه الظروف الأكثر صلاحية للحياة، تجمعاً صغيراً من الكويكبات التي بقيت لدراسة تشكل النّظام الشّمسي والتاريخ السابق لإنتاج العناصر داخل النجوم. لا تزال الأرض تستقبل ما يكفي من النيازك لتصبح دراستها مسعى عمليّاً(٢)

ومع أن النيازك هي المصدر الأكثر فائدة للمعلومات المشفرة حول

---

(١) تناقش هذه الورقة أهمية المشتري بالنسبة لصلاحية الحياة:

J. I. Lunine, "The Occurrence of Jovian Planets and the Habitability of Planetary Systems," *Publications of the National Academy of Sciences* 98, no. 3 (2001): 809-814.

وتمّت الدراسة الكلاسيكية للعلاقة بين كوكب المشتري وصلاحية الحياة على الأرض على يد:

G. W. Wetherill, "Possible Consequences of Absence of Jupiters in Planetary Systems," *Astrophysics and Space Science* 212 (1994): 23-32.

في هذه الورقة، يدرس ويثريل الحماية الممنوحة للأرض من صدمات المذنبات.

(٢) يترك هذا انطباعاً لدى عالم الفلك الكوكبي وعلم الأرصاد الجوية في جامعة واشنطن، دونالد براونلي:

قد لا يكون لدى الأنظمة الكوكبية المنتشرة أحزمة الكويكبات أو كواكب المشتري، وبالتالي فإن هذه الأنظمة ستعاني من نقص شديد في علماء النيازك. بدون حزام الكويكبات المفيد الخاص بنا كان يمكن أن يكون علم النيازك علماً قائماً على نيزك النخلة، شيرغوتي، شاسيغني، وربما على لاياييت وزاغمي (وهي نيازك مريخية) وكذا عدد قليل من النيازك القمرية إذا كان أبناء الأرض قد أقنعوا أنفسهم أن مثل هذه الصخور النادرة جدّاً يمكن أن تسقط فعلاً من السماء. ولسوء الحظ فإن الصخور البيكوكبية الأكثر شيوعاً في أي نظام شمسي هي في الأغلب تلك التي تأتي من المذنبات. يبدو أن صخور المذنبات لا تسلم من الولوج الجوي لتصبح نيازك، لذلك فإن الأرض التي تتواجد في نظام شمسي خال من الكويكبات ستكون مكاناً مملّاً بالنسبة لأشخاص بأسماء مثل أندرس، واسيربورغ، ووكر، أرنولد، وود، واسون أو أوري [علماء نيازك مشهورون].

D. Brownlee, "Mysteries of the Asteroid Belt," *Meteoritics & Planetary Science* 36 (2001): 328-329.

التاريخ الكوني، إلا أنها ليست المصدر الوحيد. فالمذنبات أيضاً تخلف أنقاضاً على الأرض. وخلافاً للكويكبات، فأجزاء المذنبات لا يمكن أن تتحمل الرحلة إلى سطح الأرض بشكل يمكن التعرف عليه. وبدلاً من ذلك، فإنها تقع على الأرض كغبار المذنب. لذلك ينبغي على الطائرات التي تحلق عالياً، مثل طائرات U2 ناسا للبحوث، أن تلتقط غبار المذنب هذا قبل أن يختلط بغبار الأرض. ورغم أن معظم الأنظمة الكوكبية ترافقها المذنبات في الغالب، فربما قلة منها فقط تتوفر على ما يكفي من الكويكبات لكي تبقي النيازك سعيدة مع بعض الهدايا الصغيرة دون القضاء عليها.

من كان يظن أن حزام الكويكبات، الذي بدا لأول وهلة كأنه تجربة فاشلة في بناء كوكب أو مخلفات خطرة من الكواكب، سيلعب دوراً ليس فقط في صلاحية السكن على الأرض بل أيضاً في الاكتشاف العلمي؟ كلما تعلمنا المزيد حول الخصائص التي تبدو عرضية للغلاف الجوي، والنّظام الشّمسي، نبدأ في التعرف على النمط: لا يوفر نظام الأرض مَوْئِلاً للسكن فقط؛ بل يقع أيضاً بمثابة منصة عرض كبيرة لسكانه؛ لأن العمليات التي تنتج حالة كوكبية سعيدة كهذه هي عمليات معقدة ومترابطة. من المرجح إذن أن يكون كوكب الأرض مكاناً نادراً جدّاً. ولكن يمكننا أن نفعل ما هو أفضل من التخمين. فمع التمسك بالمعرفة المتاحة والتي مر بعضها في الصفحات السابقة، يمكننا البدء بوضع الأرض في سياقها الصحيح من خلال مقارنتها بالكواكب الأخرى في النّظام الشّمسي، بل وحتى بالكواكب الخارجة عنه.

الفصل الخامس

النقطة الزرقاء الباهتة في راحة

«لا شك أن هناك جزءاً كبيراً جداً من سطح الزّهرة مغطى بالمستنقعات... إن درجة الحرارة على كوكب الزّهرة ليست مرتفعة جداً لحد أن تمنع وجود الغطاء النباتي. لا بد أن الكائنات الحية قد تطورت [في القطبين] إلى أشكال أعلى من أي مكان آخر، وسينتشر التقدم، والثقافة، إذا صح التعبير، تدريجيّاً من القطبين باتجاه خط الاستواء. في وقت لاحق... ربما ليس قبل أن تعود الحياة على الأرض إلى أشكالها البسيطة، أو أنها انقرضت بالكلية، ستظهر النباتات والحيوانات، تشبه في نوعها تلك التي تَبْهجُ العين البشرية لرؤيتها، وستكون الزّهرة حينئذ بحق «الملكة السماوية» ذات الشهرة البابلية، ليس بسبب بريقها المشع وحده، ولكن كمكان لأعلى الكائنات في النّظام الشّمسي».

ـ سفانتي أرينيوس، الحائز على جائزة نوبل، ١٩١٨م[(١)]

كل تلك الأماكن الأخرى:

تكهَّن البشر بالحياة على الكواكب الأخرى مذ علمنا بوجودها. ولكن مثل هذه الأسئلة ازدادت بشكل كبير في عام ١٥٤٣م، عندما اقترح **كوبرنيكس** أن الأرض ذاتها كانت كوكباً، يدور حول الشّمس كحال الكواكب الأخرى. لم تعد الكواكب مجرد نقاط ضوئية متجولة يشوبها الغموض، فقد كانت أماكن، والأماكن، بطبيعة الحال، قد تتوفر على سكان. ومع ذلك ففي الآونة الأخيرة فقط، تمكّنا من مقارنة تلك الأماكن بالأرض. بدءاً بمجسات مارينر

---

(١) كما تُرجمت ونشرت من طرف هانت (G. E. Hunt) ومور (P. Moore) في:

The Planet Venus (London: Faber & Faber, 1982), 74-76.

(Mariner) الفضائية في ستينات القرن العشرين، والمستمرة إلى يومنا هذا، ومع المجسات حول مدار المرّيخ و(قريباً) زحل، اتسع فهمنا للكواكب الأخرى وأقمارها (باستثناء بلوتو) بشكل سريع. فغيرت هذه المعرفة الجديدة من تصورنا للأرض مقارنة بأبناء الشّمس الآخرين. وقد كانت أيضاً خيبة أمل بالنسبة للتخمينات التي بدت في وقت لاحق ضرباً من الخيال. ومع ذلك، يوفر ما تعلمنا، خصوصاً مع المواد التي ناقشناها سابقاً، بعض الموضوعية للمقارنة بين الأرض والكواكب الأخرى والأقمار في النّظام الشّمسي، وبين «الكواكب خارج النظام الشمسي» المكتشفة حديثاً، تعمل هذه الأجسام الأخرى كمجموعة شاهدة لمقارنة ـ أو بعبارة أفضل، لمقابلة ـ السمات البارزة لكوكبنا. رغم كل ما قد قيل لنا حول هذه النقطة الزرقاء الباهتة التي لا معنى لها، فإن الأرض كوكب مضيف استثنائي بحق للحياة، وللاكتشاف العلمي على حدٍّ سواء.

معرض الكواكب:

يصنف علماء الفلك الأجسام في النّظام الشّمسي إلى الكواكب، وتوابعها (أو الأقمار)، والكويكبات (وتسمى كذلك بالكواكب الصغيرة) والمذنبات، يمكننا أيضاً أن نضع الكواكب في ثلاث مجموعات: الكواكب الأرضية (عطارد، الزّهرة، الأرض، والمرّيخ)؛ الغازية العملاقة (المشتري، زحل، أورانوس، ونبتون)؛ وبلوتو، في مجموعة خاصة به، ويحتمل أن يكون عضواً في حزام كايْبِر. تقابل بعض الأقمار الكواكب الأرضية من حيث الحجم؛ إذ يتسم تيتان، وهو أحد أقمار زحل، بغلاف جوي كثيف. دعونا نبدأ جولتنا حول أقرب جيران الأرض.

المرّيخ: الجار الأكثر شبهاً بالأرض:

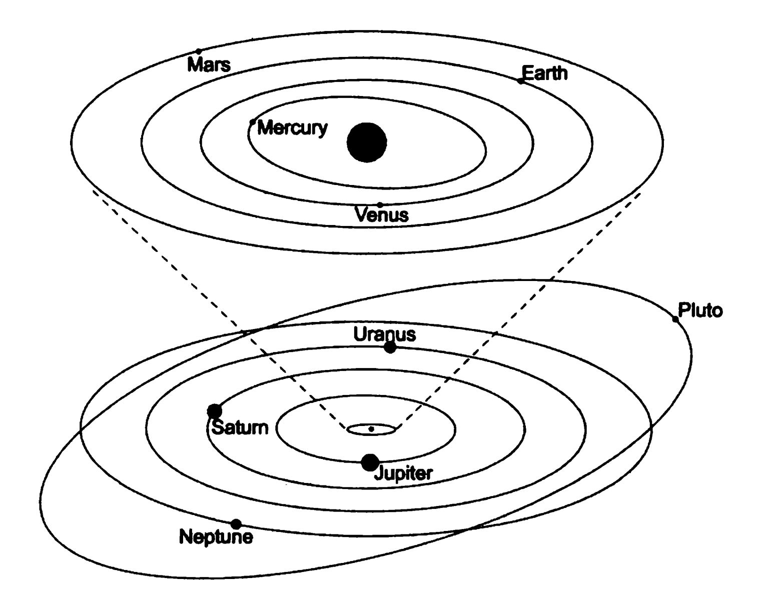
إن مناخ المرّيخ هو الأكثر شبهاً لمناخ الأرض أكثر من أي جسم كوكبي آخر في النّظام الشّمسي، لكن الاختلافات لا تزال عميقة. فضغط سطحه أقل من واحد في المئة من ضغط سطح الأرض. ومع أن بعض الماء يتكاثف على

مناطقها القطبية، فإن سطح الكوكب جاف ومغبر. يتغير حجم كل من القطبين الشمالي والجنوبي بشكل كبير على مدى السنة المرّيخية. ومعظم الغطاء الجليدي لقطبه الجنوبي ثاني أكسيد الكربون المتجمد ـ جليد جاف ـ بينما يتوفر القطب الشمالي على أجزاء جليدية ذات مياه دائمة، نجد في الغلاف الشمالي تقريباً نصف حجم الغطاء الجليدي في غرينلاند. إذا ذاب وانتشر على الكوكب بأسره، فإنه سيغطي المرّيخ ببحر أحمر، يتراوح عمقه بين عشرة إلى عشرين قدماً.

حتى مع توفر الغطاءين القطبيين، يفتقر المرّيخ إلى المميزات الشبيهة بأحوال كوكب الأرض، التي تجعل الجيولوجيا التاريخية أكثر من مطاردة غير مجدية، فيجعله هذا الغياب مكاناً سيئاً للحياة. تشير صور عربة مدارية عالية الدقة أن الرياح تؤدي إلى تآكل كامل لسطح المرّيخ، فتدمر بذلك المعلومات الهامة أثناء هذه العملية (انظر: اللوحة ١٠). تؤدي هذه الرياح المحملة بالغبار إلى تآكل سابق في الطبقات الراسبة. والرواسب التي ليس لها مصدر متماسك معرضة للتأثير بشكل خاص. يمكن للرياح القوية والمُطّرِدة أن تُحوِّل على مدى آلاف السنين سهلاً طباقيّاً إلى حقل فوضوي من الكثبان. بما أن المرّيخ مرت به القليل من التساقطات المطرية، كان من السهل تدمير الجليد الواقع على الغطاء القطبي الشمالي خلال عدة سنوات أثناء عاصفة ترابية كبيرة، أو تبخره خلال موسم أكثر جفافاً من المتوسط. حتى لو كان الجليد لا يزال يتراكم على قطبي المرّيخ، فلا بد من أن ذلك سيتمّ ببطء شديد، مشكّلاً طبقات سنوية رقيقة جدّاً.

يقلل الغبار المنتشر على القطبين من قدرة الجليد على عكس أشعة الشّمس نحو الفضاء، مما يتسبب في تسخينه أكثر من الجليد الخالص. في حين أن بعض الطبقة تبدو مرئية على الصور عالية الدقة لقطبي المرّيخ، من المجسات الفضائية للمدارات، فإنها تفشل في الحفاظ على المعلومات بأمانة تقارب أمانة الرواسب الجليدية القطبية للأرض، التي تتراكم باطراد سنة تلو الأخرى[١]

(١) على الرغم من أن غطاء القطب الشمالي المريخي لا يحافظ على الطبقات السنوية تقريباً كما هو الشأن =



● **الشكل ٥,١: يضم نظامنا الشّمسي ثمانية كواكب كبيرة ذات مدارات دائرية وثابتة إلى حدٍّ ما، في نفس المستوى تقريباً، ومقيماً بعيداً واحداً؛ بلوتو. عطارد، الزّهرة، الأرض، والمرّيخ كواكب أرضية صخرية. يقع حزام الكويكبات بين المرّيخ والمشتري. المشتري وزحل كواكب غازية عملاقة. يتشكل أورانوس ونبتون في الغالب من الغاز مع بعض الصخور والجليد. وبلوتو الذي يبدو كالمذنب، أغلبه عبارة عن الصخور والجليد. تمّ تمثيل المدارات لا الكواكب بحسب السلم.**

ومن المصادف أن فترات الدوران الحالية للمريخ والأرض، والميلان المحوري متماثلان تماماً. إلا أن المرّيخ يفتقر إلى قمر كبير، لذلك فإن ميله يتذبذب إلى حد كبير، على مدى ملايين السنين. وهكذا، فبينما محور دوران الأرض مستقر جدّاً، يتراوح ميل المرّيخ من ١٥ إلى ٤٥ درجة على مدى العشرة ملايين سنة الماضية(١) وحتى في زاويته المثلى حاليّاً، فإن قطبي

= بالنسبة للمناطق القطبية للأرض، كشفت صور المسابير عالية الدقة للشقوق الكبيرة في الجليد عن الطباقية. يشبه نمط الطباقية عمليات المحاكاة للتغيرات طويلة الأمد وتغيرات الانحراف الخاصة بالمريخ على مدى المليون سنة الماضية؛ انظر:

J. Laskar, B. Levrard, and J. F. Mustard, "Orbital Forcing of the Martian Polar Layered Deposits," *Nature* 419 (2002): 375-377.

وجدوا معدل ترسب متوسط يقدر بـ٠,٠٥ سم في السنة بالنسبة للنصف الأول من التسجيل ونصف هذا القدر بالنسبة للنصف الثاني.

(١) Laskar, et al. "Orbital Forcing," 376; J. Laskar, and P. Robutel, "The Chaotic Obliquity of the Planets," *Nature* 361 (1993): 608-612.

المريخ لا يشكلان مسجلات بيانات جيدة. وفي زوايا الميل العالية، يمكن للجليد القطبي أن يذوب أو يتبخر حتى بشكل كامل[1] ولقد سبق وناقشنا المشاكل التي يطرحها الميل غير المستقر للحياة معقّدة. تكشف مقارنة مناخ المرّيخ بمناخ الأرض عن الجودة الرفيعة لرواسب الأرض الجليدية.

تحيط المحيطات بغرينلاند والقطب الجنوبي، مما يوفر مصدراً مستمرّاً للرطوبة بالنسبة لرواسب الجليد، حتى إلى المناطق الداخلية من هذه الجزر العملاقة. لا يضمن مناخ المرّيخ الجاف نموّاً صافياً للجليد من سنة إلى أخرى، كما أن المحيطات الشاسعة من الرمال على سطحه تكتسح الغطاءين القطبيين الحساسين، فتعكس الظاهرة الأرضية المألوفة لموجات المياه إذ تطغى فوق القلاع الرملية. يعتبر ثاني أكسيد الكربون، الذي يتحول مباشرة من جليد إلى غاز على سطح المرّيخ، العنصر الأكثر وفرة في الغلاف الجوي للمريخ، وبديل ضعيف للمياه في شكل مصفوفة مستقرة من الرواسب. إن الانحراف المداري الكبير لكوكب المرّيخ ـ الذي يتأرجح بين قيمته القصوى والدنيا على مر الدورة السنوية حول الشّمس ـ والتذبذب الواسع لمحور ميلانه، يجعل من غير المحتمل أن تترسب الطبقات الجليدية السنوية فتحفظ

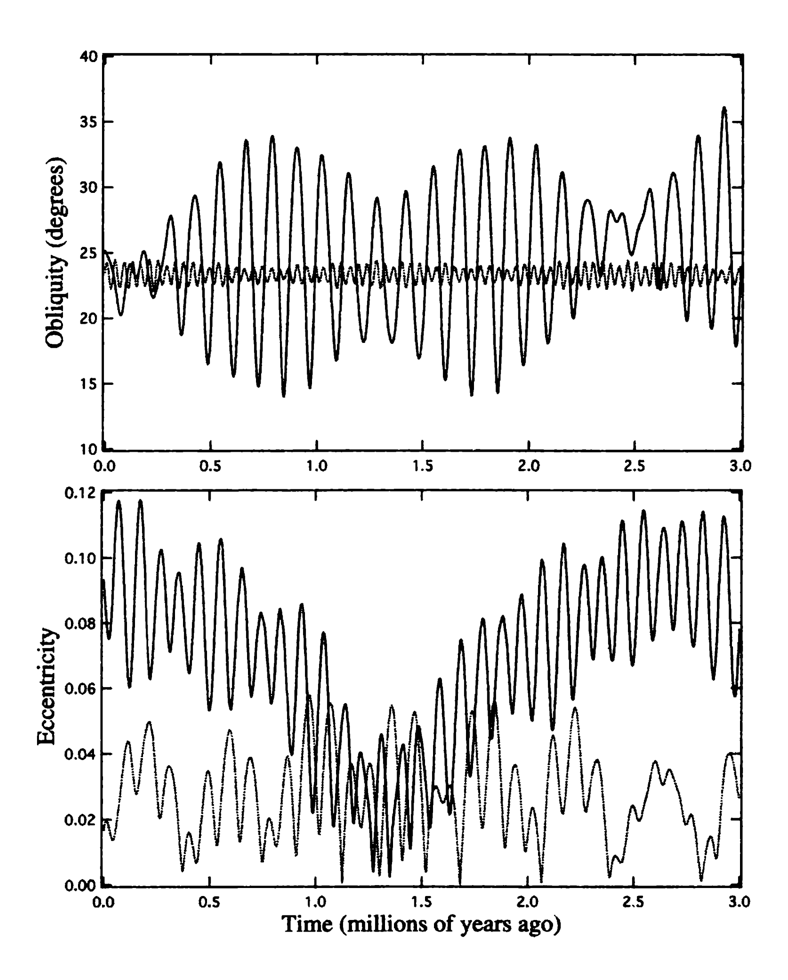
---

(١) تمت مناقشة الاستجابات المناخية المريخية المحتملة لتغيرات الميلان (أو الميل) الكبيرة في:

B. M. Jakosky, B. G. Henderson, and M. T. Mellon, "Chaotic Obliquity and the Nature of the Martian Climate," *Journal of Geophysical Research* 100 (1995): 1579-1584; T. Nakamura and E. Tajika, "Evolution of the Climate System of Mars: Effects of Obliquity Change," *Lunar and Planetary Science* 33 (2002): 1057.

تخلص الدراسة الثانية إلى أن المريخ لا يستطيع أن يحفظ أغطية الجليد المتبقية عندما يتجاوز ميلُه خمسة وأربعين درجة. يتوفر المريخ على قمرين صغيرين جدّاً: ديموس وفوبوس. أظهرت الصور المقرّبة من مسابير فايكنج في أواخر السبعينات أشكالاً وتفاصيل في سطحيهما تشبه بشكل كبير أسطح الكويكبات التي زارتها مسابيرٌ حديثة العهد. ولهذا السبب، يعتقد علماء الفلك الكوكبي أنها كويكبات ملتقطة. يدور فوبوس، وهو أكبر القمرين وأقربُهما، في أقل قليلاً من ثماني ساعات. وبما أنه يقع داخل مسافة التزامن (حيث تساوي فترته المدارية فترة دوران الكوكب)، يدور فوبوس على نحو لولبيّ ببطء بالاتجاه إلى الداخل مقترباً من التفاعلات المدية مع المريخ. ويفترض أن يصطدم به بعد أربعين مليون سنة تقريباً. وبالتالي فإن أقمار المريخ ليست فقط غير قادرة على إحداث ظواهر الكسوف الشمسي الكلي؛ بل لا تستطيع أيضاً تحقيق استقرار ميلانه، وأحدهما سيسبب أذى نهائيّاً له في وقت قصير. إذن فوجود مزيد من الأقمار لا يجعل كوكباً مستلطفاً بالضرورة عند العلماء.

على السطح. في المقابل، يمثل سجل الرواسب الطبقية للأرض دليلاً على التّغيّرات الطفيفة في الانحراف والميل المحوري، وهي حقيقة تشهد لتلك الرواسب بحساسيتها العالية[١]



● **الشكل ٥،٢: تغيرات ميل وانحراف كل من الأرض (منقط) والمرّيخ (متصل) على مدى الثلاثة ملايين سنة الماضية. حتى هذه الفترة الزمنية الطويلة لا تعبر تماماً عن مدى مُتَغَيِّرِيَّة المرّيخ. في العشر مليون سنة الماضية، بلغ ميل المرّيخ حوالي ٤٥ درجة، وعلى مدى المليار سنة الماضية ربما وصل إلى حوالي ٦٠ درجة. تؤدي هذه التّغيّرات الكبيرة إلى تقلبات وخيمة في المناخ.**

---

(١) وبطبيعة الحال، فإن دورة المياه الضعيفة الخاصة بالمريخ، التي تشبه دورة الأرض، تبيّن أنه يمكن أن يسجل معلومات تاريخية ويمكن أن يدعم الحياة على الأقل إلى الحد الذي تشارك فيه المياه في مناخه.

تختلف جيولوجيا المرّيخ بشكل جوهري عن جيولوجيا الأرض. ففي أواخر تسعينات القرن العشرين، بدأ المغنيطومتر لمركبة جلوبل سرفيور للمريخ (the Mars Global Surveyor magnetometer) بقياس الحقل المغناطيسي لهذا الكوكب. كشفت البيانات عن ضعف الحقل المغناطيسي الأحفوري في صخور القشرة الأرضية، وأكدت أن المرّيخ يفتقر حالياً إلى حقل كوكبي مولَّد، حقلٍ ينتج عن دورانية النواة المعدنية السائلة. يشير هذا المجال الأحفوري إلى وقت من ماضي المرّيخ عندما كان يتوفر على حقل كوكبي، رغم أنه ربما كان قصير المدى[١] تماثل بعض الأنماط الباقية للحقل أنماط حقول القشرة الأرضية. وقد شجع هذا البعض على التخمين بأن المرّيخ قد تعرض لفترة وجيزة لتكتونية الصفائح[٢] أدت كتلته الصغيرة إلى إغلاق سريع للحقل المغناطيسي الكوكبي للمريخ وكذا نشاطه الجيولوجي. مما تسبب في فقده لحرارة باطنه بسرعة[٣] وربما كان هذا الإغلاق معجلاً لأن العناصر الإشعاعية المنتجة للحرارة، مثل البوتاسيوم واليورانيوم، والثوريوم، عُزلت في القشرة خلال نحو نصف مليار سنة من تشكل المرّيخ[٤] يقدر سمك قشرة المرّيخ من ٢ إلى ٤ مرات سمك القشرة الأرضية وتحتوي في الغالب على

---

(١) J. E. P. Connerney et al., "The Global Magnetic Field of Mars and Implications for Crustal Evolution," *Geophysical Research Letters* 28 (2001): 4015-4018.

(٢) يشك ديفيد ساندويل أن بقايا حقول المريخ دليل على الانتشار التكتوني القديم؛ لأن المرء «لا يمكنه أن يكون محظوظاً مرتين» انظر فصله:

"Plate Tectonics: A Martian View," in *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*, N. Oreskes, ed. (Westview Press: Boulder, 2001), 343.

وهو يعني بكلمة: «محظوظ» يقصد أنه من غير المحتمل جدّاً أن المجموعة المناسبة من الظروف اللازمة لتكتونية الصفائح (الذي ناقشناها في الفصل الثالث) ستحدث أيضاً على الكوكب المقبل من الأرض. وتقدم الدراسة التالية الدليل على أن الخصائص المغناطيسية الشريطية الشاذة للمريخ ترجع إلى عملية مماثلة للعملية التي أنتجت أمريكا الشمالية كورديليرا:

A. G. Fairen, J. Ruiz, and F. Anguita, "An Origin for the Linear Magnetic Anomalies on Mars through Accretion of Terranes: Implications for Dynamo Timing," *Icarus* 160 (2002): 220-223.

(٣) يتميز المريخ بنسبة كبيرة لمساحة السطح مقابل الحجم. يتميز كوكب أصغر بمساحة سطح أكبر مقارنة بحجم باطنه. وبالتالي فهو يبرد بشكل سريع.

(٤) S. M. McLennan, "Crustal Heat Production and the Thermal Evolution of Mars," *Geophysical Research Letters* 28 (2001): 4019-4022.

٥٠ في المئة من عناصر الكوكب المنتجة للحرارة (مقارنة مع ٣٠ إلى ٤٠ في المئة في قشرة الأرض). بمجرد إزالتها من الوشاح، لا تستطيع العناصر الإشعاعية المساهمة في الحمل الحراري الخاص بها، إلا إذا كانت القشرة مطمورة تحت الوشاح. تتفاقم هذه المشكلة على الكواكب الأصغر حجماً؛ لأن قشرتها تشغل حيِّزاً كبيراً من كتلة الكوكب.

ربما يفتقر المرّيخ إلى خامات كالخامات المتنوعة والغنية الموجودة على سطح الأرض، رغم أن بعض الخامات ربما تشكلت خلال الفترة الرطبة المبكرة للمريخ وخلال فتراته البركانية طويلة الأمد. لذلك فإن المرّيخ هو أقرب جسم كوكبي في النّظام الشّمسي من حيث مماثلته لتنوع رواسب الخامات الخاصة بالأرض. في الواقع، قد يكون الحديد أكثر وفرة في قشرة المرّيخ من الأرض، بما أنه لم يمر بقدر التمايز الداخلي التي شهدته الأرض. بالإضافة إلى ذلك، توفر النيازك المتساقطة ـ التي يتشكل بعضها تقريباً من النيكل والحديد الخالص ـ على سطحها خلال المليار سنة القليلة الماضية، والتي تحدث على نحو شائع بمحاذاة غلافها الجوي الرقيق والقريب من حزام الكويكبات مصدراً غنيّاً للحديد. في حين يتعذر الوصول إلى المعادن الأخرى. وبصفة خاصة النحاس الذي كان يستعمل في الأدوات قبل الحديد. في أي حال، يفتقر الغلاف الجوي للمريخ إلى ما يكفي من الأوكسجين للسماح للحرائق على سطحه، لذلك فسكان المرّيخ لا يمكنهم الاستمتاع لا بشارات جدارة فتى الكشافة في الطبخ ولا بالتكنولوجيا العالية.

الزّهرة: مُحِبَّة للحياة؟

بخلاف المرّيخ، تتوفر الزّهرة على غلاف كثيف. ويطلق عليها عادة اسم شقيقة الأرض، والآن نعلم بشكل أفضل: أنها معادية تماماً للحياة. بعيداً عن توفير وطن محبوب لمحيط حيوي خصب، كما اعتقد بعض الفلكيين قبل بضع عقود، تقدر درجة الحرارة على سطح كوكب الزّهرة ب٩٠٠ درجة فهرنهايت حارقة. وغني عن القول أنها تفتقر إلى دورة هيدرولوجية؛ لذا فالاسم الذي أطلقه الأوائل على هذا الكوكب ليس مناسباً بتاتاً.

تفتقر الزّهرة إلى حقل كوكبي مغناطيسي، شأنها في ذلك شأن كوكب المرّيخ، ولكن لأسباب مختلفة. فهي مع ذلك ربما لا تزال تتوفر على نواة معدنية سائلة التي يفتقرها المرّيخ حاليّاً، لكنّ طول اليوم في الزّهرة يعادل تقريباً السّنة فيها. ما يعني: أن الكوكب يدور ببطء لتوفير أكبر قدر من الحقل المغناطيسي. لا يمكن للحركة البطيئة لنواة معدنية دَوّارة أن تولد حقلاً كوكبيّاً مغناطيسيّاً بنفسها. وبدونه، لا يستطيع الكوكب أن يحمي غلافه الجوي من التفاعل المباشر مع الرياح الشّمسية. ورغم حجم كوكب الزّهرة الذي يقارب حجم كوكب الأرض، فإن الزّهرة تتوفر على نظام مختلف للديناميات الداخلية. (يبدو أن الأرض هو الجسم الكوكبي الوحيد في النّظام الشّمسي الذي لا يزال يتوفر على تكتونية الصفائح)[١] تمنع قشرتها السميكة المستقرة نوع الحركات التكتونية التي نراها على الأرض؛ وبدلاً من ذلك، فإن الزّهرة كباقي الكواكب الأرضية في النّظام الشّمسي تخضع إلى ما يسمى بالحمل الحراري الراكد للغطاء (stagnant lid convection)[٢] وبخلاف الانقلاب الحراري المطرد لغطاء الأرض وقشرتها التي حررت ببطء الحرارة الداخلية، يمكن لكوكب كبير مع الحمل الحراري الراكد للغطاء يراكم الحرارة، وكوعاء بغطاء جزئيّاً، يحررها على نحو كارثي. يبدو أن كوكب الزّهرة مر بمرحلة ظهور بركاني على مستوى الكوكب كله قبل حوالي خمسة إلى ثمانمائة مليون سنة، الذي تؤكده وجود فوهات البراكين على سطحه. أزال هذا الحدث تماماً أي معلومات سجلت سابقاً على السطح، ونفث كمية كبيرة من غازات

(١) لكي نكون منصفين، هناك أدلة على نشاط تكتوني في الماضي على المريخ، لكن تفسير البيانات لم يكن مقبولاً على الإجماع؛ انظر:

M. H. Acuna et al., "Global Distribution of Crustal Magnetization Discovered by the Mars Global Surveyer MAG/ER Experiment," *Science* 284 (1999): 790-793.

وحتى إن تقرر ذلك في أحد الأيام، فإنه لا يبدو أن النشاط التكتوني السابق للمريخ هو النمط المتقدم الذي نراه على الأرض.

(٢) C.C. Reese and V. S. Solomatov, "Non-Newtonian Stagnant Lid Convection and Magmatic Resurfacing on Venus," *Icarus* 139 (1999): 67-80.

الاحتباس الحراري في غلافه الجوي[١] في مقابل القشرة الأرضية الثابتة التي يتمّ إعادة تدويرها على الأرض، والتي تحفظ المعلومات لفترات طويلة على قاراتها الطافية بينما تنظم كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

فلماذا إذن، كان تاريخ كوكب الزّهرة مختلفاً جدّاً عن كوكب الأرض؟ قد يكون الحمل الحراري الراكد للغطاء هو التفسير الكامل، أو قد تكون حالة دورانه الأولية ذات علاقة، يعتقد الفلكيون أن معدلات الدوران الأولية واتجاهات الكواكب الأرضية نتجت عن الأجسام الكبيرة الأخيرة التي كانت ذات تأثير عليها. بإضفائها الزاوي في هذه العملية. من هذا المنظور، كان يبدو الدوران الانتكاسي الذي تمّت مقارنته عكسيّاً مع مداره؛ كأي دوران تقدمي، حيث يدور بنفس الاتجاه، ذلك أنه لا جرم أن بعد العوامل أثرت على الأرض القديمة من اتجاهات عشوائية. يعد اتجاه الدوران أمراً حاسماً بالنسبة لدولة مستقبلية على كوكب أرضي؛ لأنه يؤثر على نواة الكوكب السائلة، والدوران، وتأثير المدار. يحرك عزم الدوران التجاذبي الصادر عن الشّمس ـ وعن القمر بالنسبة للأرض ـ الجزء الصلب بالنسبة لنواته السائلة.

وكتشبيه تقريبي، تخيّل بيضة نصف مسلوقة ذات قشرة صلبة، وبياض متماسك، ومُحّ أصفر يتخضْخَض إذا أُديرت البيضة بسرعة. يمكن للحركات السّلسة للكوكب أن تصبح حادة ومكثّفة جدّاً عندما حدوث رنين مداري حيث تتأثر حركات الجزء السّائل للكوكب مع إحدى حركات جزئه الصّلب[٢]

---

(١) للاطلاع على مراجعة موجزة لتطور المناخ في الزهرة، انظر:
M. A. Bullock and D. H. Grinspoon, "Global Climate Change on Venus," *Scientific American* (March 1999): 50-57.

(٢) نعني هنا بالرنين أن فترة دورة السائل الرئيسية تتعلق بإحدى حركات الجزء الصلب للكوكب بمضاعف أعداد صحيحة صغيرة. وهذا يماثل ظواهر الرنين في حزام الكويكبات الناجمة عن كوكب المشتري. في حالة كوكب في رنين مع السائل المتواجد في نواته، يتسارع عنصر كتلي معين للسائل إذا كان ـ بنفس الطريقة ـ تحت تأثير عزم الدوران من الجزء الصلب للكوكب في نفس النقطة في كل دورة دوران.

يحول الاحتكاك هذه الحركة إلى حرارة في الحدود البينية للنواة والوشاح، على حساب الطاقة الدورانية للكوكب. يتمّ إيداع هذه الحرارة الإضافية بقاعدة الغطاء؛ حيث يمكن أن ينتج الذوبان في نشاط بركاني واسع على السطح والمرافق للاحتباس الحراري، تشير المحاكاة الحاسوبية أن باطن الزّهرة يمكن أن يولد قدراً أكبر من الحرارة أثناء فترة الرنين أكثر من الأرض[1] وهذا لأن دوران الزّهرة تراجعي ـ فدورانها في اتجاه عقارب الساعة، في حين أن مدارها يتجه في الاتجاه المعاكس، إذا نظرنا من الشمال ـ كما أن الحركات المدية عليها ضعيفة. يتباطأ دوران قمر الأرض بشكل كبير، رغم أن كوكب الزّهرة أقرب إلى الشّمس منه؛ لأن دوران الأرض يتباطأ بسرعة أكبر، فهي تستغرق نسبيّاً زمناً قصيراً إثر الرنين ولذلك فهي تعاني على نحو أقل من الموجات الحرارية النابضة المدمرة في باطنها. ومع ذلك، يبدو أن الأرض مرت برنين ملحوظ منذ حوالي ٢٥٠ مليون سنة، عندما كان طول يومها أقصر ببضع ساعات. يتنبأ علماء الفلك وعلماء الحفريات أن هذا الحدث يمكن أن يكون قد تسبب في نشاط بركاني ضخم وحالة انقراض ضخمة، بينما يعتقد آخرون أنها كانت ناتجة عن اصطدام ضخم، كان يمكن أن يكون الأمر أسوأ لو كانت الأرض تفتقر إلى قمر بحجم كبير.

ماذا عن الكواكب الأخرى؟

يضم النّظام الشّمسي ـ بالطبع ـ على خمسة كواكب أخرى، أو ستة إذا أدرجنا في العد كوكب بلوتو. كان بإمكاننا أن نخط الصفحات التالية في سرد الاختلافات بين الأرض وهذه الأماكن. لكنها لن تكون أفضل حالاً من الزّهرة والمرّيخ إذ هما أفضل المتاح. عطارد الذي يتسم الجانب النهاري منه بحرارة حارقة مع دوران يجر نفسه ببطء حتى يكاد يتوقف تحت تأثير جاذبية الشّمس هو الكوكب الأرضي الآخر والوحيد الذي يتوفر على «منصة مراقبة مستقرة». وكلما اتجهنا خارجاً في نطاق النّظام الشّمسي، فإن ظروف الحياة تزداد سوءاً. كما أن

(١) J. Touma and J. Wisdom, "Nonlinear Core-Mantle Coupling," *Astronomical Journal* 122 (2001): 1030-1050.

الكواكب البعيدة في النّظام الشّمسي لن توفر سوى مواقع ضعيفة للمراقبة مقارنة بالمنصة الأرضية. وهي كذلك متباعدة فيما بينها على نحو يعرقل مراقبة الكواكب الأخرى. أما الكواكب الداخلية فلن يكون بالإمكان رؤيتها إذ ستختفي بسبب إشعاع الشمس الساطع، مما يجعل من الاختبارين الأولين لنظرية النسبية العامة لـ**آينشتاين** ـ الحركة البِدارية لحضيض المشتري (the precession of the perihelion of Mercury) وانحناء الضوء النجمي ـ أكثر صعوبة. تتطلب المدد المدارية الطويلة (من عقود إلى قرون) للكواكب الخارجية أيضاً، مدة المراقبة أطول من عمر الإنسان. في جميع الأحوال، معظم علماء الفلك وعلماء الأحياء الفلكيين لا يعتبرون هذه الكواكب مرشّحة وواعدة للحياة؛ لذا وبما أنّ الحياة قصيرة وثمن طباعة الصفحات باهظ، فلا وقت لدينا لنضيّعه. عوضاً عن ذلك، دعونا نبحث البديل المثير والأكثر شهرة والخيار الأنسب للحياة.

القمر أوروبا: مستوطن آخر للحياة؟

بالانتقال من الفرن إلى الثّلاجة، يركّز بعض علماء الأحياء الفلكيين انتباههم الآن على القمر الثّاني من بين الأقمار الغاليلية الأربعة لكوكب المشتري، القمر أوروبا (Europa)، والذي يقدر تقريباً بحجم القمر الأرضي وربّما يتوفر على محيط[(١)] تكشف الصّور عالية الدّقّة التي تمّ رصدها بواسطة المسبار غاليليو في التّسعينات، عن وجود سطح جليدي متصدّع، مع علامات تدلّ على ذوبان حديث، واندفاع السّوائل من تحت السّطح.

بناءاً على عدد الحفر الظّاهرة في الصّور، يقدّر علماء جيولوجيا الكواكب أن يكون عمر سطح أوروبا بحوالي عشرة إلى عشرين ميلون سنة فقط. وهكذا، فإنّ المعلومات على سطح أوروبا يعاد بناؤها على هذا الجدول الزمني، وهو أسرع عشر مرّات من معدّل إعادة البناء الخاصّ بقاع بحر الأرض. يمكننا استخلاص بعض المعلومات عن تاريخ مدار أوروبا من نمط

(١) تشير البيانات الحديثة أيضاً إلى وجود محيط في غانيميد، القمر الغاليلي الثالث للمشتري، لكنه مغطى بطبقة جليدية أكثر سمكاً من محيط أوروبا.

الشّقوق على سطحه، لكن لا شيء مثل البيانات التي يمكن استخراجها من جليد الأرض ورواسب قاع البحر. ومع ذلك، فإنّه من المثير للاهتمام أنّه في كلتا الحالتين (وكذلك بالنسبة للمرّيخ) الماء هو المادّة الرّئيسية المعنيّة بتخزين المعلومات. كانت هناك تكهّنات كثيرة حول احتمال وجود حياة في محيط أوروبا، سيقت معظمها على الافتراض السّاذج القائل بأنّ وجود الماء السّائل يضمن عمليّاً وجود الحياة، بصرف النّظر عن الظّروف البيئية الأخرى[1] أمّا نحن فمتشكّكون؛ **أولاً**: إذا كان هناك محيط تحت السّطح الجليدي لأوروبا، فإنّه على الأرجح بعمق مائة كيلو متر تقريباً؛ أي: عشرين مرّة أكثر عمقاً من الحوض الاعتيادي لمحيطات الأرض. ويقدر الضغط في قاع المحيط في أوروبا نحو ٢,٥ ضعف الضغط الاعتيادي في الأحواض الأرضية. لا يمكن للحياة البسيطة أن تتحمل ضغطاً مرتفعاً على نحو تعسفي. يمكن لبعض الكائنات الحية الدقيقة أن تنمو في ضغوط تصل إلى ألف مرة ضعف الضغط عند مستوى سطح البحر على الأرض، ولكن من المحتمل أن قاع محيط أوروبا يتجاوز هذا الحد بـ ٣٠٪ تقريباً في المئة[2]

ثانياً: حتّى لو استطاعت بَقَّةٌ شديدة التحمّل البقاءَ على قيد الحياة بهذا الضّغط، فإنّ أوروبا تواجه مشاكل أخرى. فعلى سبيل المثال، تتوفر محيطات أوروبا على مقدار ضئيل من الطّاقة المتاحة من أجل النّشاط البيولوجي. لا يمكن لأشعّة الشّمس أن تخترق الجليد السّميك. وإنّ ما يوجد من الماء السّائل ينتج عن الطّاقة المدّية المتسرّبة من باطن القمر. لا نعرف كيف تشقّ

(١) للاطلاع على مراجعة حول هذا الموضوع، انظر:
C. F. Chyba and C. B. Phillips, "Europa as an Abode of Life," *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 32 (2002): 47-68.

(٢) تقدم الدراسة التالية تقريراً عن النشاط البيولوجي للبكتيريا في ضغوط تصل إلى ١٦,٠٠٠ مرة ضغط السطح على الأرض:
A. Sharma et al., "Microbial Activity at Gigapascal Pressures," *Science* 295 (2002): 1514-1516.
وقد لوحظ أن النشاط البيولوجي عند الضغط العالي يبلغ نحو ١ في المائة من النشاط البيولوجي في الظروف المحيطة. وسيكون من المثير للاهتمام أن نعرف ما إذا كان من الممكن إعادة بناء هذه النتائج بشكلٍ مستقلٍ.

الحرارة طريقها إلى المحيط. ومن المحتمل جدّاً أنّها مختلفة عن منافذ سطح الأرض. والتي تقع قرب الجبال الواقعة بمنتصف المحيط؛ حيث تسري مياه المحيط عبر صخور القشرة الأرضية المسكوكة (minted) بعناية نتيجة تكتونية الصّفائح. يمكن للمياه السّاخنة عند مزجها بالمعادن والغازات المناسبة، أن توفر طاقة كيميائية.

في أوروبا، من المحتمل جدّاً أن تتّصل المنافذ بالقنوات القديمة التي تفتقر إلى مثل هذا الثّراء الكيميائي. إذا تمكّن بشكل خاص كائن قوي من توسيع الوجود في محيط أوروبا، فمن المرجّح أن يكون وحيداً؛ لأن البيئة، مع ضَآلَة بحرها وجوها وواجهاتها المائية، يمكن أن تمنع وجود مجموعة متنوعة من المخلوقات. حتى على الأرض، تعتبر الفتحات المصدر الأدنى للمواد البيولوجية؛ تنتج المياه السطحية الكتلة الحيوية حوالي ١٠٠,٠٠٠ مرة أكثر من جميع المنافذ مجتمعة. على الأغلب، ربما تدعم أوروبا الكتلة الحيوية ألف مرة أقل من الأرض، أو أقل بكثير من هذا[١]

ثالثاً: يمكن أن تكون محيطات أوروبا بالكامل كالبحر الميت، مالحة جدّاً للحفاظ على حياة[٢] تتبخر البحار الضحلة قرب القارات، فتحافظ على مستوى منخفض نسبيّاً لمحتوى الملح بالمحيطات. بعد أن تحل المياه المالحة ببحر غير ساحلي، فإن الملح يودع الملح في قاع البحيرة عند تبخر الماء. يمكن لأي شخص سبق له أن زار منجماً للملح أن يرى بنفسه كَمَّ الملح الذي يتمّ تخزينه تحت سطح الأرض. لا يمكن لكوكب صخري دون يابسة أن يخزن الأملاح الزائدة.

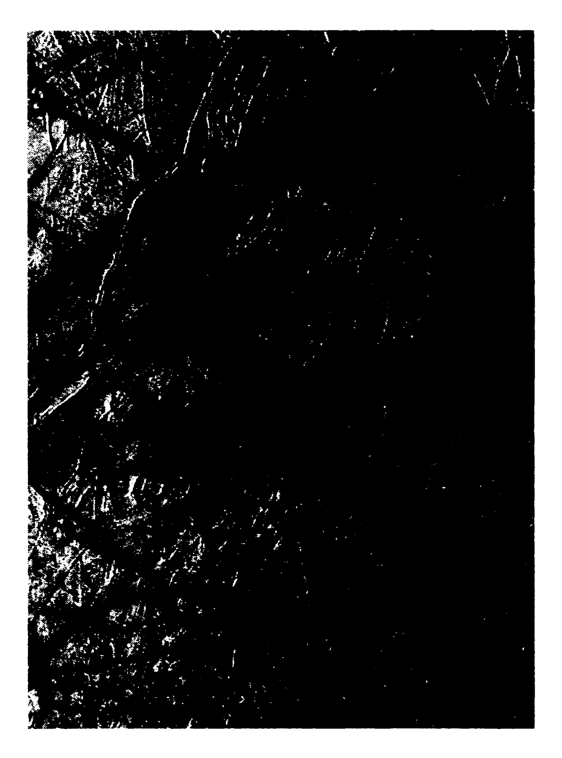
والأكثر من ذلك، وبما أنّ التّسخين المدي بأوروبا عرضي، فإنّه ينفلت إلى الدّاخل والخارج من رنين مداري مع أقمار أخرى مجاورة. لذلك يمكن

---

(١) Chyba and Phillips, “Europa as an Abode of Life,” 56.

(٢) J. Lovelock, *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth* (New York: W. W. Norton, 1988), 106.
إن جزءاً كبيراً من الحياة على الأرض ينحصر في تركيزات ملحية قريبة من ٠,٨ مول؛ تصل ملوحة مياه البحر إلى حوالي ٠,٦٨ مول. التركيز المولي هو عدد مولات المذاب في كل لتر من الماء.

لمحيطه أحياناً أن يتجمّد تقريباً بشكل كلّي[١] خلال هذه الفترات يصبح المحيط أكثر ملوحة؛ لأن الملح في الماء السّائل ليس مدرجاً في الجليد، ممّا يؤدي إلى قتل الكائنات الحية التي كانت تترنح على حافّة تحمّل الملوحة[٢]؛ لذا إذا كنت تأمل أن تجد ناسا المكافئ الأوروبي لمدينة أطلانطس المفقودة، أو أي شيء أكثر تطوراً بكثير من عدد قليل من الكائنات الحية الدّقيقة القوية والوحيدة ولا يمكن تقريباً تصوّرها، فلا تحبس أنفاسك.



● **الشكل ٥,٣:** منطقة بعرض ١٠٠ ميل وطول ١٤٠ ميل من السطح الجليدي للقمر الغاليلي الثاني للمشتري، أوروبا. تظهر على سطحها عدة كسور وتلال. يشير عدد الحفر الصغيرة نسبيّاً الظاهرة على هذا القمر إلى سطح حديث العهد، التي تمّت إعادة تدويرها على جدول زمني مقداره ملايين السنين. التقط مسبار غاليليو هذه الصورة في تشرين الثاني/نوفمبر عام ١٩٩٦م.

---

(١) W. B. McKinnon and E. L. Shock, "Ocean Karma: What Goes Around Comes Around on Europa (Or Does It?)," *Lunar and Planetary Science* 32 (2001): abstr. 2181.

(٢) ومع كل هذه القيود على الحياة في أوروبا، لا يزال يخمن البعض بأنه يمكن أن يوجد مجال بيئي ملائم على بعد بضعة أمتار تحت السطح في شقوق الجليد.

الأرض في السياق:

تكشف هذه المقارنة للأرض بالكواكب الأخرى في النّظام الشّمسي عن حجم الخصائص التي تميزها وتوفرها على معظم المؤهلات التي نهتم بها. كما أنّها توضّح أيضاً أهمّية مفاضلات وعتبات القياس؛ فمثلاً، يمنح جسم كوكبي لا يتوفّر على غلاف جوّي؛ كالقمر أو كوكب عطارد، رؤية أكثر وضوحاً من سطحه للكون من الأرض. بحيث سيتمكّن ساكن افتراضي على سطح عطارد من رؤية ثابتة أكثر وضوحاً للنّجوم على نطاق واسع من الطّيف الكهرومغناطيسي، لكنّ رؤيتنا القاصرة للكون البعيد، مكّنتنا بشكل مفاجئ من إحراز تقدّم بارز في الفيزياء الفلكية. على سبيل المثال، يمكن لبعض المراصد على قمم الجبال أن تصحّح حركة الصّورة التي يسبّبها الغلاف الجوّي المضطرب، وتنتج صوراً تضاهي صور مرصد هابل الفضائي.

والأكثر من ذلك، أنّ بإمكان علماء الفلك أن يميّزوا، في ليال واضحة ومستقرّة، خصائص امتصاص الغلاف الجوي بدقّة كافية لحساب سطوع نجم كما لو أنّه لا يوجد غلاف جوي. تتطلّب هذه الحيلة أكثر من مجرّد قياس السّطوع المتغيّر للنّجم أثناء قيامه برحلة ليلية عبر السّماء؛ كما أنّ الأمر لن يكون عمليّاً في غلاف جوي مغبرّ، وقد ساعدت المراصد الفضائية جدّاً بشأن الظّواهر الفلكية الغريبة؛ كتلك التي لا تتسبّب في انبعاث الكثير من الإشعاع في مجال الرّؤية ـ كانفجارات الأشعّة السّينية وأشعّة غاما مثلاً. والأهم من ذلك، دون غلاف جوي، كنّا لندفع ثمناً باهظاً لقياس الظّواهر الأخرى. ولن يكون لدينا دورة هيدرولوجية، تمثّل أساساً للرّواسب الطّباقية غير العضوية وطبقات النّمو البيولوجية، كما يمكن لصدام حريثي عنيف (excessive impact tilling) أن يدهور الرّواسب الدّقيقة. بما أنّ الغلاف الجوي للأرض يصل بالفعل إلى حدّ نفاذيته للضّوء المرئي، فإنّ فوائد الافتقار إلى الغلاف الجوي تفوق تكاليفها بشكل كبير.

في المقابل، بالنّسبة لعلماء الفلك، الفرق بين غلاف جوي شفّاف نسبيّاً وآخر شبه شفّاف أو كامد (غير شفّاف) كالفرق بين أن تكون ذا عين سليمة واحدة وألّا يكون لك عينان على الإطلاق، يتوفّر كوكب غازي عملاق

كالمشتري أو زحل على غلاف جوي معتم وديناميكي مليء بالسّحب الكامدة. كما أنّه يفتقر إلى سطح صلب يوفّر منصّة للمراقبة، ولحفظ وتخزين المعلومات. اختفت آثار اصطدام المذنّب شوميكر ـ ليفي ٩ (Shoemaker-Levy 9) بكوكب المشتري في يوليو سنة ١٩٩٤م لفترة طويلة؛ بحيث تذكّرنا الصّور فقط بهذا الحدث الكبير. تساعد مقارنة النّشاط الجيولوجي للأرض بالنّشاط الجيولوجي للقمر والكواكب الأخرى أيضاً على وضع كوكبنا في منظور صحيح. لم يبق إلا القليل من الدهر الجهنّمي (Hadean period) للأرض، قبل ما بين ٤,٥ و٣,٨ بليون سنة، نظراً للجيولوجيا النّشطة الخاصّة بها. (ربما يحسب هذا ضدّ صالح حجّتنا لكن سوف نرى في الفصل التالي كيف تحلّ جميع الأمور). وفي الوقت نفسه، تسمح الجيولوجيا للجيولوجيين بتخطيط باطنها على نحو فعّال، كما تسمح لهم وللجميع بالوجود كما ناقشنا في الفصل الثّالث. لذلك فمن الصّعب أن نلوم الأرض لتلويثها للبيانات إبّان الحقبة الجهنّمية. بل بدلاً عن ذلك، يمكننا أن نكون شاكرين؛ لأن الأرض كانت تتوفّر على غلاف جوي كالذي كان لديها، ليس فقط للأسباب التي سبق ذكرها. لا تنشأ الموجات الزّلزالية بسبب الهزّات تحت الأرضية فقط؛ بل جرّاء الاصطدامات السّطحية كذلك. عندما يفتقر جسم كالقمر إلى غلاف جوي يمكن أن تصبح الاصطدامات السطحية المتوالية بشكل مفرط مصدر ضجيج لعلماء الزلازل. تولد الاصطدامات الصغيرة، وهي معدودة، موجات زلزالية ضعيفة لا تفيد جدّاً في سبر الباطن. كما أنها تحجب جزئيّاً اصطدامات أكبر، أقل تواتراً، تقوم بإرسال الموجات الزلزالية إلى أنحاء الجسم كله.

رغم ما تفسده الظروف الزلزالية للأرض الأكثر ملاءمة على الجيولوجيين، فإنهم كانوا قادرين على التغلب على الاصطدام المتكرر والمستقر للقمر والحصول على بيانات زلزالية كافية لتخطيط باطنه. بحيث يبقى الجسم الوحيد الذي تمّ تخطيط باطنه، إلى جانب الأرض، والذي يدور حول الشّمس. (تمّ تخطيط البنية الداخلية للشمس أيضاً، لكن ليس عن طريق أجهزة قياس الزلازل؛ انظر: الفصل السابع). وبمقارنة بيانات الأرض مع هذه

البيانات، نكوّن فكرة على النشاط الزلزالي المحتمل للأقمار والكواكب الأخرى في النّظام الشّمسي. سجلت أربعة من ستة أجهزة قياس للزلازل التي تمّ وضعها على سطح القمر من قبل رواد أبولو للفضاء أكثر من اثني عشر ألف حدث زلزالي بين عامي ١٩٦٩ و١٩٧٧م. وواحد وثمانون منها فقط كانت جيدة بما فيه الكفاية للكشف عن البنية الداخلية للقمر[١] وأربع وثلاثون منها كانت هزة أرضية عميقة، وأربع عشرة منها كانت سطحية؛ وشكلت البقية اصطدامات طبيعية وصناعية. طبقاً لمعاييرنا، تعتبر أكبر الزلازل على سطح القمر ضعيفة جدّاً، أقل من ثلاثة درجات على سلم ريختر. من دون ماء، تسمح الصخور القمرية للموجات الزلزالية بالانتشار مع تخفيض قليل نسبيّاً، لكن قشرتها غير المتجانسة، والمشقوقة تقوم تبددها مما يجعل تفسير البيانات أمراً صعباً.

قد يتفاجأ المرء أن القمر ما زال يشهد الزلازل، بما أنه لم يعد نشيطاً بركانيّاً. ربما تنتج هذه الزلازل عن التشويه المدي الناجم عن الجاذبية الأرضية. بشكل عام، ستشهد الأجسام الكوكبية الصغيرة أقل عدداً من الهزات والاصطدامات من الأجسام الكبيرة. وهكذا، يجب أن يتوفر المرّيخ على عدد أقل من الهزات الأرضية التي لا تتعلق بالاصطدامات مقارنة بالأرض، وأكثر مقارنة بالقمر. يجب أن يولد أوروبا العديد من الزلازل، نظراً للقوى المدية العنيفة لقشرته والناتجة عن قربه من كوكب المشتري العملاق، ولكنها أقل فائدة. لا يمكن للموجات الزلزالية الثانوية (Seismic shear waves) أن تنتشر عبر محيطها المغمور، ويمكن للجليد أن يولد الكثير من الصخب الزلزالي، ومع ذلك فإننا لا نستطيع الجزم حتى تهبط مَرْكَبة فضائية هناك.

وأخيراً، هناك مدار الأرض المضيف والميل. (انظر: اللوحة ١١). كما وصفنا في الفصل الثاني، تؤثر تغيرات طفيفة فقط في هذين المتغيرين على

(١) A. Khan, K. Mosegaard, and K. L. Rasmussen, "A New Seismic Velocity Model for the Moon from a Monte Carlo Inversion of the Apollo Lunar Seismic Data," *Geophysical Research Letters* 27 (2000): 1591-1594.

مناخ الكوكب. إذا كان مقدار أيٍّ منهما أكبر قليلاً، ستتغير درجة حرارة كل جزء من سطح الأرض بشكل أكبر، ومن المحتمل أن يكون أقل صلاحية للحياة[1] في الواقع، ربما كان ليكون المحيط الحيوي للأرض مختلفاً نوعيّاً؛ حيث إن التنوع البيولوجي للمنطقة يتعلق بإنتاجية القاعدة البيولوجية؛ إذ لن ينجو إلا عدد قليل من أنواع في منطقة تشهد تقلبات كبيرة في درجة الحرارة على مدار العام، وكلما كان المحيط الحيوي ضعيفاً، تراجع دوره في تحقيق استقرار المناخ. مع كل ما قيل، يمكن أن تدعم الأرض التجمعات الميكروبية الأنيمية، ولا شيء غيرها[2] وهذا ليس مجرد (تعبير) علمي؛ لأن الميل المحوري للأرض وانحراف مدارها يتغيران بأقل قدر ممكن، في حين يفوق معدل هذين العاملين في معظم الكواكب الأرضية الأخرى.

المتجولون الفوضويون:

يساعد مدار الأرض كذلك على الملاحظة والرصد العلمي وذلك بالنسبة لأبناء الأرض. مكّن المدار الدائري للأرض القدماء من استخدام حركات الشّمس المرئية في السماء لتعيين مرور الزمن. كان يمكن لمدار أقل دائرية أن يعيق القدماء من نمذجة حركات الكواكب ـ وهي مرحلة حاسمة في سلم تطوير نظرية النسبية العامة (انظر: الفصل السادس).

اليوم، يستفيد «علم الفلك القديم» (paleoastronomy) من مدارات الأرض المنتظمة، القمر، والكواكب الضخمة، التي تؤثر أنماطها الدورية على رواسب الأرض الطباقية؛ ولأن النّظام المستقر يتكرر مع نفس المدة للعديد

(١) للاطلاع على محاكاة حاسوبية أولية تظهر كيف يمكن أن تتغير تغيرات درجة حرارة سطح الأرض إذا ازداد انحرافها، انظر:

D. M. Williams and D. Pollard, "Earth-like Worlds on Eccentric Orbits: Excursions Beyond the Habitable Zone," *International Journal of Astrobiology* 1 (2002): 61-69.

(٢) حتى الإكستريموفيل لا يمكنها أن تحيا بشكل جيد على كوكب يتميز بتقلبات كبيرة في درجة الحرارة؛ لأنها تسمح فقط بمجال ضيق نسبيّاً من الظروف البيئية. نُذكّر من مناقشتنا في الفصل الثاني أن الإكستريموفيل تعيش في بيئات مستقرة نسبيّاً وإن كانت متطرفة كجليد في القطب الشمالي، أو ربيع حار، أو بحيرة مالحة.

من الدّورات، يُمكِّن للباحثين تطبيق ما يسمى بتقنيات تحليل فورييه لفصل القش عن القمح، أو في هذه الحالة، لعزل الصخب الخلفي عن النمط المتكرر[1] يمكن انتظام المدارات الفلكيين من حساب مدارات نظام الأرض - القمر والكواكب الأخرى لما يعود إلى مليون سنة.

لا تتحرك كل الأجسام في النّظام الشّمسي بانتظام. فمدار بلوتو، ومدارات الكويكبات في الحزام الرئيسي قرب منطقة الرنين لكوكب المشتري، والميل المحوري للمريخ، واتجاه محور دوران قمر زحل «هايبريون» غير المنتظم، كلها فوضوية بشدة[2] في نظام فوضوي، تتعلق الحركات المستقبلية على نحو حساس جدّاً بالشروط الأولية؛ كمثل رفرفة أجنحة الفراشة في الصين التي تؤدي إلى عاصفة رعدية في وايومنغ. إن التطبيق المخبري الكلاسيكي لهذه الظاهرة هو البندول المزدوج الذي يتوفر على مفصل يصل بين قضيبين. مهما حاولت بدء تحريك البندول بنفس الطّريقة في كل تجربة، فإنه يتخذ مسارات مختلفة بسرعة. حتى أن البندول العادي بدون مفصل يصبح فوضويّاً عندما ترسل التّغيّرات الكبيرة الكرة إلى فوق (فوق خط أفقي وهمي). تظهر الأنظمة التي تتفاعل تجاذبيّاً بعض درجات من الفوضى إذا كانت أكثر تعقيداً من نظام ثنائي بسيط (يتكوّن من جسمين). لذلك يتصرف كوكب يدور حول نجم كبندول عادي. بينما تتصرف الكواكب القريبة من بعضها كبندول مزدوج - أي: أنّها تميل إلى أن تختبر/

---

(١) فمثلاً، يوصف العثور على ارتفاعات قوية في الترددات المتوقعة في طيف طاقة فورييه لعينات الرواسب البحرية باعتباره كشفاً ناجحاً لدورات ميلانكوفيتش. تجزئ تقنيات تحليل فورييه إشارة مقاسة على مجال زمني إلى تأليفات من دالات الجيب وجيب التمام. فهي تحول إشارة مقاسة على مجال زمني إلى إشارة بدلالة التردد. تسمى مساحة مربع مطالات الجيب وجيب التمام في مقابل التردد بطيف القدرة؛ وتبين مقدار القوة الموجودة في كل تردد. تعتبر أطياف القدرة مفيدة جدّاً في البحث عن إشارات ضعيفة للتردد المستمر في مجموعة صاخبة من البيانات؛ إذ تمكننا من فصل الصخب عن المعلومات.

(٢) يقدم بيترسون (Peterson)، في (Newton's Clock)، مقدمة سهلة للقراءة في علم الفوضى في النظام الشمسي. وقد قدم ليكار (Lecar) وآخرون مراجعة أكثر تقنية حول الموضوع في:
"Chaos in the Solar System," *Annual Reviews of Astronomy & Astrophysics* 39 (2001): 581-631.

تتعرض لتغيّرات كبيرة وسريعة بشكل قاتل[١]

ولم يكتشف علماء الفلك أن نظامنا الشّمسي يتصرف بشكل فوضوي حتى أواخر الثمانينات[٢] وتعتبر مدارات الكواكب الكبيرة الأقل فوضوية، يليها كوكب الأرض وكوكب الزّهرة، في حين أن المرّيخ وعطارد وبلوتو هي الكواكب الأكثر فوضوية[٣] بشكل عام، تميل مدارات الكواكب الأقل ضخامة إلى أن تكون أكثر فوضوية. تتصرف الكواكب الضخمة كالأشقياء الكبار الذين يدفعون من حولهم الأطفال الصغار في الحي. وهكذا، يحتاج الكوكب لكتلة معينة للحفاظ على مدار مستقر طويل المدى، وبالتالي، على استقرار المناخ أيضاً. تعد مدارات عطارد والمرّيخ أقل استقراراً من مدارات الأرض والزّهرة باعتبارهما أكثر ضخامة، كما أشرنا. ومع ذلك، فإنه من غير المتوقع أن يصطدم المشتري بالزّهرة أو يغادر النّظام الشّمسي قبل أن تصبح الشّمس كتلة حمراء عملاقة وتبتلعه، تشير عمليات المحاكاة الحاسوبية إلى أن مداره يمكن أن يكون في بعض الأحيان محدوداً جدّاً[٤] بحيث يمكن أن تحد فوضوية مداره وميله، من المعلومات التي يمكن للمرء الحصول عليها انطلاقاً من العمليات الطباقية. والأكثر من ذلك، بما أن مداره يتقلب ويتذبذب بشكل كبير، بالتالي مناخه كذلك، فمن المرجح أنه لن يحافظ على الرواسب الطباقية على الإطلاق.

بتحفيز من مناخ الأرض المستقر إلى حدٍّ ما ورواسبه الطباقية الغنية بالمعلومات، بدأ العلماء الذين يدرسون مناخ الأرض القديم، والذين يدعون بعلماء المناخ القديم[٥] (paleoclimatologists)، في البحث في العينات البحرية

---

(١) يحتاج المرء أن يقضي فقط قدراً متوسطاً من الوقت مع برنامج حاسوبي لمحاكاة الجاذبية لمعرفة الوتيرة السريعة التي تصبح فيها الأنظمة الكوكبية المتعددة فوضوية وكارثية. على سبيل المثال، راجع الموقع الإلكتروني:

http://www.7stones.com/Homepage/Publisher/grav.html.

(٢) J. Laskar, "A Numerical Experiment on the Chaotic Behaviour of the Solar System," *Nature* 338 (1989): 237-238.

(٣) J. Laskar, "Large-scale Chaos in the Solar System," *Astronomy & Astrophysics* 287 (1994): L9-L12.

(٤) Lecar et al., "Chaos in the Solar System," 47.

(٥) تنظر: الدراسة التالية في استقرار التغيرات الأولية في المعلمات المدارية للأرض وكيف يتعلق هذا =

العميقة عن مؤشرات التّغيّرات الطفيفة في مدارات الكواكب الأخرى واستقراء مدار الأرض إلى ما قبل ثلاثين مليون سنة[١] يمكننا دراسة التاريخ الفوضوي لمدارات الكواكب الأخرى فقط لأننا نعيش على منصة مستقرة. ونتيجة لذلك، ربما تعطينا سجلات الأرض يوماً ما، نظرة فريدة في تاريخ الديناميكية الدقيقة للنظام الشّمسي، يعود إلى عشرات الملايين من السنين.

المتجولون البعيدون:

في حين أننا اكتسبنا معرفة لم يسبق لها مثيل عن جيراننا من الكواكب خلال العقود القليلة الماضية، يمكن القول: إن التطورات الأخيرة الأكثر إثارة في علم الفلك تمثلت في اكتشاف الكواكب التي تدور قرب النجوم الشبيهة بالشّمس[٢] اعتباراً من ١ يوليو ٢٠٠٢م، تمّ العثور على مائة كوكب عملاق بواسطة طريقة دوبلر للكشف، الذي يستعين بـ«اتهادي» (wobble) نجم بينما يدور كوكب حوله. يمكن أن تكشف التّغيّرات الطفيفة في تحول دوبلر للطيف الضوئي الخاص بالنجم عن وجود كوكب آخر غير مرئي. تسمح التكنولوجيا الحالية بالكشف عن كواكب أكثر ضخامة من أورانوس أو نبتون فقط، ومع ذلك تَعِدُ البعثات الفضائية المخطط لها؛ كمهمة كبلر لوكالة ناسا، بكشف الكواكب التي بحجم الأرض[٣]

أخذ أول كوكب تمّ اكتشافه خارج المجموعة الشّمسية حول نجم شبيه بالشّمس العديد من علماء الفلك على حين غرة لأنه يتناقض مع التوقعات[٤]

= باستخدامها في علم المناخ القديم:

A. Berger, M. F. Loutre, and J. Laskar, "Stability of the Astronomical Frequencies over the Earth's History for Paleoclimate Studies," *Science* 255 (1992): 560-566.

(١) هذه هي حدود المحاكاة المدارية الرياضية البحتة.

J. Laskar, "The Limits of Earth Orbital Calculations for Geological Time-Scale Use," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 357 (1999): 1735-1759.

(٢) للاطلاع على أحدث الأخبار حول أبحاث الكواكب خارج المجموعة الشمسية، انظر موقع:

The Extrasolar Planets Encyclopaedia: http://www.obspm.fr/encycl/encycl.html.

(٣) للمزيد عن مهمة كبلر، انظر:

http://www.kepler.arc.nasa.gov.

(٤) كان أول كوكب تم العثور عليه حول نجم آخر هو ٥١ بيغاسي، بفترة مدارية مدتها أربعة أيام.

وكانت الاكتشافات في السنوات القليلة الماضية على خلاف المتعارف عليه على حدِّ السواء. تختلف هذه الأنظمة عن نظامنا بطريقتين بارزتين: **أولاً:** تدور بعض الكواكب العملاقة قريباً جدّاً من النجوم التي تستضيفها، والتي تسمى بـ«نظائر المشتري الحارة»، بأدوار قصيرة قدرها ثلاثة أيام. تتوفر الكواكب التي تفوق أدوارها المدارية أسبوعين أو ثلاثة أسابيع بشكل عام على مدارات ممتدة جدّاً تتغير مسافتها عن نجومها المضيفة بشكل كبير؛ سبعة فقط من الكواكب العملاقة التي لها فترات أطول من شهر واحد وبانحراف أقل من ٠,١. (يتميز المدار الدائري التام بانحراف ٠، والمدار المكافئ بانحراف ١). في المقابل، يقدر انحراف كوكب المشتري ب ٠,٠٥[١] حتى الآن، لم يوجد أي توأم حقيقي للمشتري - بمدار دائري تقريباً ودور مداري يقدر بحوالي اثني عشر عاماً - حول نجم شبيه بالشّمس. أقرب مطابقة هو الكوكب الثالث من نجم السرطان ٥٥ (٥٥Cancri) بدور مداري قدره أربعة عشر عاماً تقريباً، وبكتلة أكبر ٤,٣ مرات من كتلة المشتري، وبانحراف قدره ٠,١٦. لذلك فبغض النظر عن دوره المداري، هذا الكوكب لا يشبه كوكب المشتري. يتميز الكوكب الثاني بمدار أكثر امتداداً ويستغرق شهراً للدوران حول نجمه المضيف. ومن المثير للاهتمام، أن السرطان ٥٥ هو أحد النجوم الغنية بالعناصر الثقيلة في الجوار الشّمسي، لذلك فهو بالكاد يشبه الشّمس[٢] من بين الأنظمة الكوكبية التي تمّ اكتشافها حتى الآن، نظام النجم الوحيد الدب الأكبر ٤٧، (47-Ursa Majoris) أو أوما ٤٧ (٤٧ UMa) اختصاراً، يبعد

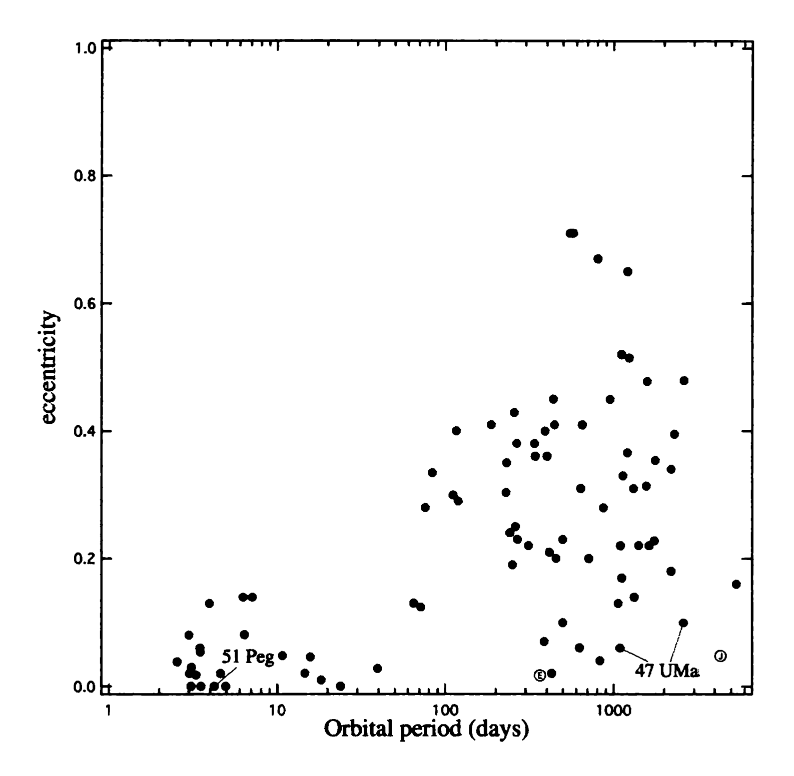
M. Mayor and D. Queloz published their discovery in "A Jupiter Mass Companion to a Solar-Type Star," *Nature* 378 (1995): 355-359.

(١) من المهم أن نشير إلى أن الانحرافات في مدارات هذه الكواكب السبعة لا تزال غير مؤكدة نسبيّاً. وبعض الملاحظات صاخبة جدّاً بحيث لا يمكنها تحديد انحراف كوكب معين بشكل موثوق؛ في هذه الحالات، تكون الانحرافات محددة عند الصفر.

(٢) انظر:
G. Gonzalez and A. D. Vanture, "Parent Stars of Extrasolar Planets III: P[1] Cancri Revisited," *Astronomy and Astrophysics* 339 (1998): L29-L32.

نعني بـ«المعادن» العناصر خارج الهيدروجين والهيليوم. سنناقش المعدنية النجمية بالمزيد من التفصيل في الفصلين السابع والثامن.

بخمسة وأربعين سنة ضوئية من الأرض، ويشبه تقريباً نظامنا الشّمسي. يحتوي على كوكبين عملاقين بمدارات دائرية إلى حدٍّ ما مع دور مداري قدره ثلاث أو سبع سنوات تقريباً؛ تمّ اكتشاف الكوكب الخارجي بعد خمس سنوات من الأول.



● **الشكل ٥،٤:** الأدوار والانحرافات المدارية لجميع الكواكب خارج المجموعة الشّمسية التي تمّ اكتشافها بواسطة طريقة دوبلر اعتباراً من ١٥ يونيو ٢٠٠٣. يجمع كوكب المشتري (J) والأرض (E) بين انحرافات منخفضة مع أدوار مدارية طويلة نسبياً. (يمثل ٠,٠ على المحور الرأسي دائرة تامة). تتسم الكواكب مثل الفرس الأعظم ٥١ ب (PegB ٥١) ذات أدوار قصيرة جدّاً، والتي تسمى بـ «نظائر المشتري الحارة» (Hot Jupiters)، بانحرافات صغيرة مقارنة بالمشتري أو الأرض. (تمّ تمثيل الدور المداري هنا وفق سلم لوغاريتمي). من المرجح أن الأنظمة الكوكبية التي تضم نظائر المشتري الحارة تعتبر معادية للحياة، كذا الأنظمة التي تضم كواكب عملاقة تدور وفق مدارات ذات انحرافية مرتفعة.

ليس من المستغرب أنه تمّ وصف النّظام 47 UMa على أنه يؤكد النّظام الشّمسي بكونه ليس «خاصّاً»، ويدعم المبدأ الكوبرنيكي. في حين يظهر هذا الاكتشاف أن النّظام الشّمسي ليس خاصّاً بوجود كواكب عملاقة، ذات

مدارات دائرية تقريباً متعددة السنوات، 47 UMa هو النّظام الوحيد الذي وجد حتى الآن يشبه ـ شيئاً ما ـ نظامنا. وهذا يفترض أن نظامنا الكوكبي قد لا يكون نموذجيّاً، والواقع أن هذا النظام حتى يبدو غير مشابه لنظامنا. لو كان المشتري أقرب إلى الشّمس قرب الكوكب الداخلي من نظام 47 UMa إلى نجمه. لكان هذا الكوكب المتنمر قريباً من الأرض على نحو غير مريح[١]

فضلاً عن ذلك، فإن حقيقة أن 47 UMa يحتوي على كوكبين لهما مدارات دائرية إلى حدٍّ ما، لا يعني أنه نظام قابل للسكن. نحن لا نعرف حتى الآن ماذا أيضاً يتربص هناك. قد نكتشف لاحقاً كواكب أخرى تدور وفق مدارات أكثر انحرافية أو قريبة جدّاً من النطاق حول النجمي الصالح للحياة (سنناقش هذا في الفصل السابع). يمتاز نظامنا بانتظام صارخ مع وجود ثمانية كواكب ذات مدارات منخفضة الانحراف. (باستثناء بلوتو، الذي يفضل تصنيفه على أنه جسم ضمن حزام كايْبِر (Kuiper Belt Object)، يقدر متوسط الانحراف للكواكب في النّظام الشّمسية ب٠,٠٦ فقط).

هناك حقيقة أخرى مثيرة للاهتمام حول نظام 47 UMa ـ يشبه النجم المضيف الشّمس حيث إنه يضم إلى الكواكب ١٦ Cygni (Cyg) B وHD 222582 بوصفهما نجمين شبيهين بالشّمس، مع اعتبار كتلتها وتكوينها على الأقل[٢] هذا لا يعني أن جميع النظائر الشّمسية تضم كواكب عملاقة

(١) M. Noble, Z. E. Musielak, and M. Cuntz, "Orbital Stability of Terrestrial Planets Inside the Habitable Zones of Extrasolar Planetary Systems," *Astrophysical Journal* 572 (2002): 1024-1030.

تحققوا من استقرار الكواكب الأرضية في نظام ٤٧ أوما لفترة زمنية تمتد لبضع مئات من السنين. ووجدوا أن مدار كوكب أرضي، مستقر في الحافة الداخلية للمنطقة الصالحة للحياة لهذا النجم لفترة قصيرة من محاكاتهم. لكن من غير المرجح أن تظل انحرافية هذا الكوكب صغيرة كما هو الحال بالنسبة للأرض على مدى فترات طويلة. والأكثر من ذلك، إذا كانت الكتل الحقيقية للكواكب العملاقة أكبر على نحو معتدل من الكتل الدنيا الملاحظة فإن سماح النظام بوجود الكواكب الأرضية في المنطقة الصالحة للحياة بمدارات دائرية سيكون أقل احتمالاً.

(٢) لكن ١٦ Cyg B عضو في نظام نجم ثنائي. يتميز النجمان بمدارات منحرفة للغاية، وبفترات تقدر بحوالي ١٠٠,٠٠٠ سنة. ومن المحتمل أن الانحراف الحالي العالي حول ١٦ Cyg B قد نجم عن اضطرابات جاذبية من ١٦ Cyg A؛ انظر: =

بمدارات كالخاصة بالمشتري. يضم كل من ١٦ Cygni (Cyg) B وHD 222582 كواكب ذات مدارات كما أن النظائر الشّمسية الأخرى لم تظهر أي دليل على وجود الكواكب. وهكذا، على الرغم من أن الأمر لا يزال مبكراً، فيبدو كما لو أنه من الواجب على النجم أن يكون وحيداً وأن يكون بنفس تكوين الشّمس وكتلتها تقريباً، ليحظى فقط بفرصة لائقة أن يكون محاطاً بكواكب شبيهة بكوكب المشتري.

عرض علماء الفلك عدداً من النظريات لتفسير كل من أنظمة المشتري الحارة، والأنظمة الكبرى ذات المدارات الكوكبية الممتدة. والتفسير الأكثر شيوعاً فيما يخص أنظمة المشتري الحارة أن هذه الكواكب تهاجر نحو الداخل من مدار أبعد. ويمكن أن تحسب عدة آليات ممكنة في صف هذا التفسير[١] لكن مهما تكن أي من التفسيرات هي الصحيحة، فكلها تعيق تواجد الكواكب الأرضية الصّالحة للسكن. يمكن لكوكب عملاق أن يبعث بعيداً أيَّ كوكب أرضي يمر بقربه في النطاق حول النجمي الصالح للحياة[٢]، والكواكب العملاقة التي تحدث اضطراباً فيما بينها إلى مدارات أكثر استطالة، هي الأفضل في إحداث الاضطراب على الكواكب الصغرى ويعيث الفساد في نظامها الشّمسي[٣]

حتى الآن لا نستطيع القول ما إذا كانت معظم الأنظمة الكوكبية الأخرى

= T. Mazeh, Y. Krylolowski, and G. Rosenfeld, "The High Eccentricity of the Planet Orbiting 16 Cygni B," *Astrophysical Journal Letters* 477 (1997): L103-L106.

(١) هذه هو التفاعل بين كوكب وكثافة الموجات التي أنشئت في القرص الكوكبي الأولي، من طرف الكوكب، التشتت التجاذبي للأجسام الصخرية في المنطقة المجاورة للكوكب، أو التفاعلات التجاذبية المتبادَلة بين كوكبين أو أكثر، التي تترك أحدهما في مدار أصغر. تميل التفاعلات التجاذبية المتبادلة إلى ترك كوكب واحد على الأقل في مدار انحرافي للغاية.

(٢) هناك نتيجة أخرى لهجرة الكواكب العملاقة. عندما يهاجر الكوكب العملاق إلى الداخل، فهو لا ينثر الكواكب الأرضية المتدخلة بعيداً فحسب؛ بل يزيل أيضاً الكواكب المصغرة، فبدون الكواكب المصغرة المتعددة، ما تمكنت الكواكب الأرضية بحجم الأرض من التشكل. انظر:
P. J. Armitage, "A Reduced Efficiency of Terrestrial Planet Formation Following Giant Planet Migration," *Astrophysical Journal Letters* 582 (2003): L47-L50.

(٣) يتبين أن تفاصيل تشكيل الكواكب الأرضية حساسة جدّاً لتكوين الكواكب العملاقة. انظر:
H. F. Levison and C. Agnor, "The Role of Giant Planets in Terrestrial Planet Formation," *Astronomical Journal* 125 (2003): 2692-2713.

صديقة للحياة والاكتشاف بقدر نظامنا الشّمسي. إذا استمرت الانحرافات المرتفعة للكواكب العملاقة في سيادتها مع اكتشاف المزيد من الأنظمة؛ إذن سيصبح من الواضح أن الأنظمة التي تشبه نظامنا تضم عدة كواكب تدور وفق مدارات مستقرة نادرة، أو نادرة للغاية.

الأقمار كمواطن بديلة:

وبتحفيز من جميع اكتشافات الكواكب العملاقة الجديدة، اقترح بعض علماء الأحياء الفلكيين أن الأقمار الكبيرة تدور حول الكواكب الغازية العملاقة كمواطن بديلة شبيهة بكوكب الأرض[(١)] لكن المرجح أن مثل هذه البيئات أقل استضافة للحياة من عالمنا.

أولاً: ستكون اصطدامات المذنبات أكثر حدوثاً في المناطق المجاورة لكوكب عملاق، بسبب جاذبيته القوية[(٢)] (انظر: اللوحة ١٢). توضح الصور الملتقطة للتفكك والتحطم اللاحق لمذنب شوميكر ـ ليفي ٩ في يوليو ١٩٩٤م هذه النقطة، كذا اكتشاف سلاسل الفوهة الصدمية على كاليستو وجانيميد (قمرين من أقمار المشتري) ـ تضم إحدى عشرة سلسلة صدمية ١١٦ فوهة، منتظمة كقلائد من حبات لؤلؤ عملاقة[(٣)]

ثانياً: مقارنة بالأرض، فسرعات الصدمات ستكون أكبر بالنسبة لقمر حول كوكب عملاق بسبب جاذبيته القوية والسرعة المدارية للقمر من حوله.

ثالثاً: ستكون مستويات إشعاع الجسيمات أعلى بالقرب من كوكب غازي عملاق ذي حقل مغناطيسي قوي مثل كوكب المشتري (على الرغم من أن

---

(١) على سبيل المثال، انظر:
D. M. Williams, J. F. Kasting, and R. A. Wade, "Habitable Moons around Extrasolar Giant Planets," *Nature* 385 (1997): 234-236.

(٢) خاصة عند التقاطها في مدارات مؤقتة. وبطبيعة الحال، ليس لكل نظام كوكبي نفس تدفق المذنبات كالتدفق الخاص بنا، بسبب تواريخ التشكل المختلفة وتكوينات الكواكب العملاقة. ومع ذلك فإن النظام الذي يشكل كوكباً أرضيّاً بحجم الأرض سيكون على الأرجح مصحوباً بالكثير من المذنبات والكويكبات وربما كوكب غازي عملاق واحد أو أكثر.

(٣) P. M. Schenk et al., "Cometary Nuclei and Tidal Disruption: The Geologic Record of Crater Chains on Callisto and Ganymede," *Icarus* 121 (1996): 249-274.

الكواكب الغازية العملاقة الصغرى، مثل زحل، تتميز بحقول ضعيفة). وكنتيجة لذلك، فإن القمر الذي لا يتوفر على حقل مغناطيسي قوي[1] من شأنه أن يفقد غلافه الجوي بسرعة أكبر، يعرّض سطحه إلى مزيد من الإشعاع، ويهدد، أو على الأرجح يبيد الحياة على سطحه[2].

رابعاً: سيصبح دوران القمر حول محوره متزامناً مع مداره حول كوكبه المضيف إلى حدٍّ ما مما يجعل نفس الجانب منه يواجه دائماً كوكبه المضيف. هذا المدار المتزامن، جنباً إلى جنب مع تباطؤ دوران القمر حول الكوكب العملاق، من شأنه أن يؤدي إلى زيادة تقلبات درجة الحرارة بين الليل والنهار. بالنسبة لأنواع البيئة التي تشبه نظام القمر الغاليلي، يمكن أن تكون المدارات التي تخضع للرنين مفيدة؛ لأنها تولّد الحرارة الداخلية عن طريق الإجهاد المدّي (tidal stressing)[3] لكنّ التّغيّرات المدارية على مقدار زمني من مئة مليون إلى بليون سنة تمنع حركة المد والجزر من أن تكون مصدراً متاحاً بشكل مستمر للحرارة[4] إذا تجمد محيط أوروبا بشكل دوري خلال فترات الهدوء للتسخين المدي، ومن المحتمل مثلاً أن يدمر أي حياة معقّدة هناك.

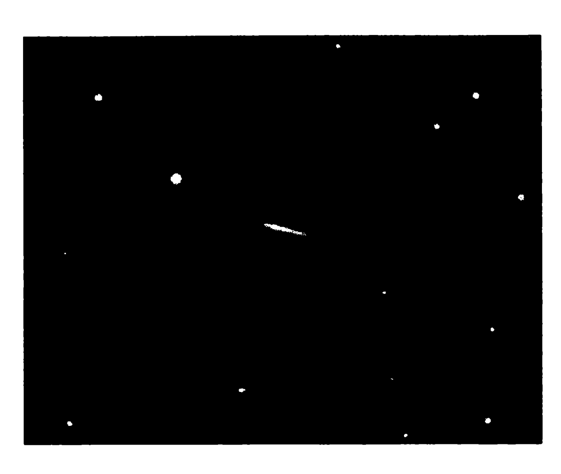
---

(١) لا يحتاج القمر بحجم الأرض إلى توليد حقل مغناطيسي داخلي في نواته. يتوفر القمران الغاليليان، أوروبا وجانيميد، على حقول كان يُعتقد أنها تحدث في الماء مع الأملاح الذائبة في باطنها. وتشكل إلكتروليتات موصلة تولد حقولاً مغناطيسية عندما يعبر القمر خطوط الحقل المغناطيسي للكوكب العملاق. تقدر قوة الحقل المغناطيسي لغانيميد بحوالي ١٠ في المئة فقط من الأرض، في حين تقدر قوة الحقل المغناطيسي لأوروبا حوالي خمسة وعشرين في المئة من قوة جانيميد. وهكذا، وبينما توفر هذه المجالات المستحاثة حماية معتدلة ضد إشعاع الجسيمات المشحونة، فإن هذا لا يبدو فعالاً بقدر الحقل المغناطيسي المتولد في نواة حديدية.

(٢) لو كان كوكب المشتري يدور بالقرب من الشمس، لنقل على المسافة الفاصلة بين الأرض والشمس، لكانت أحزمة إشعاعه أكثر شدة. ولذلك، ليس من العدل تماماً مقارنة حالة أحزمة إشعاع المشتري بحالة أحزمة إشعاع كوكب افتراضي عملاق في المنطقة الصالحة للحياة الخاصة بمضيفه.

(٣) ولكي يكون هذا فعالاً كمصدر للحرارة الداخلية، ينبغي أن تكون الأقمار الأخرى بحجم الكوكب موجودة أيضاً لكي تحافظ على مدار كوكبنا ـ قمرنا الافتراضي الصالح للحياة في حالة انحرافية. لن يواجه القمر الذي يكون مداره دائريّاً التغيرات في القوة المدية المطلوبة لتسخين باطنه.

(٤) R. Greenberg et al., "Habitability of Europa's Crust: The Role of Tidal-Tectonic Processes," *Journal of Geophysical Research* 105 (2000): 551.17-562.17.



● **الشكل ٥,٥: مذنب شوميكر ـ ليفي ٩ في ماي ١٩٩٣م بعد أن بدأ يتفكك سالكاً طريقاً بالقرب من كوكب المشتري في منتصف عام ١٩٩٢م. اصطدم في نهاية المطاف بكوكب المشتري في يوليو ١٩٩٤م.**

يمكن أن تكون هذه المشاكل مخففة نوعاً ما إذا كان القمر يدور بعيداً عن كوكبه المضيف. لكن هذا الوضع قد يؤدي إلى مزيد من التقلبات في كمية ضوء الشّمس التي يتلقاها من النجم الأصلي. يتصف المدار الفعال للقمر حول نجمه بكونه بيضاوي الشكل جدّاً. يقدر الانحراف الحالي لمدار الأرض بـ٠,٠١٧، والذي يمثل الثلث فقط من انحراف كوكب المشتري[١] يمكن لكوكب ذي انحراف قريب من انحراف المشتري أن يخلق المزيد من المشاكل للحياة على قمر الكوكب العملاق. بالإضافة إلى ذلك، ليس من الواضح أساساً أن الكوكب العملاق يمكن أن ينتهي بين نصف وخمسة وحدات فلكية من نجمها في مدار دائري تقريباً كمدار الأرض. (تبعد الأرض بوحدة فلكية واحدة ـ أو (AU) ـ من الشّمس).

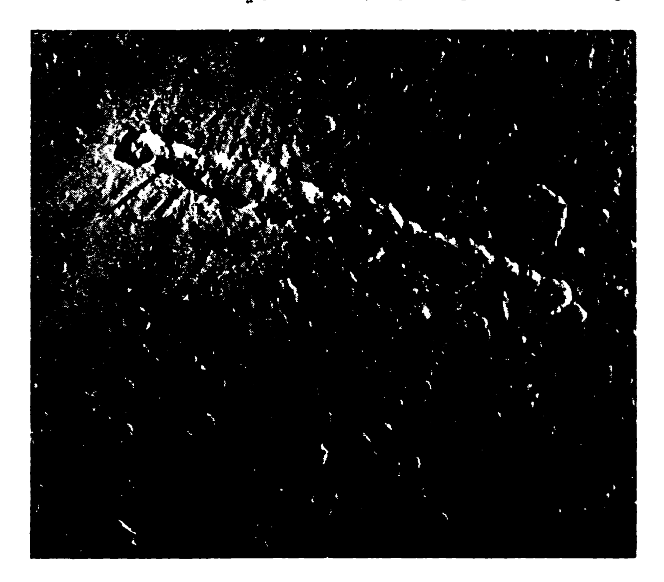
حتى لو كان بإمكان الكوكب العملاق أن يهاجر إلى الداخل ويركن نفسه في النطاق الصالح للحياة الخاصة بنجمه في مدار دائري، فلا ضامن أن أقماره ستتبع مساره. فعندما يهاجر الكوكب العملاق إلى الداخل،

---

(١) إن ما نقصد هنا هو أنه حتى كوكب المشتري يتميز بانحراف يفوق انحراف مدار الأرض بثلاث أضعاف. وبعبارة أخرى، وبغرض اعتبار استقرار المناخ في قمر افتراضي صالح للحياة، لا ينبغي أن يكون الانحراف صغيراً صِغَر انحراف المشتري؛ بل ينبغي أن يكون صغيراً بقدر انحراف الأرض. يُقدَّر تغير أشعة الشمس على سطح الأرض بنسبة سبعة في المائة تقريباً على مدار السنة. لو كان انحراف الأرض كبيراً بقدر انحراف المشتري، لكان تغير أشعة الشمس يبلغ نسبة واحد وعشرين في المئة.

ستنافس جاذبية نجمه المضيف من أجل أقماره أكثر من أي وقت مضى.

في نهاية المطاف، قد يفقد الكوكب أقماره لصالح نجمه المضيف الجشع. تشير محاكاة حاسوبية حديثة أن نظائر المشتري الحارة لم تكن لتحتفظ بأي أقمار كبيرة إن هي هاجرت إلى أماكنها الحالية[١] تعتمد المسافة التي يقطعها كوكب عملاق قبل أن يفقد قمره، على كتلته، وكتلة القمر، والاتجاه البدئي لمدار القمر؛ تميل الأقمار الضخمة لأن تتيه بسهولة. ويمكن أن يوجّه التفاعل المدي بعض الأقمار نحو كواكبها المضيفة. بغض النظر عن هجرة الكوكب المضيف، تتجول الأقمار بالقرب أو بعيداً عن كواكبها المضيفة بحسب ما إذا كانت أدوارها المدارية على التوالي، أطول أو أقصر من فترة تناوب كواكبها. يمكن لأقمار أخرى في النّظام أن تعيق الهجرة إذا كانت في الرنين (مثل: أيو وأوروبا حول كوكب المشتري).



● **الشكل ٥،٦:** إحدى سلاسل الفوهة الصدمية الإحدى عشرة المعروفة على أسطح الأقمار الغاليلية، جانيميد وكاليستو. ربما يتسبب المذنب في إحداث هذه السلسلة على جانيميد بعد أن تحطم إلى أجزاء بفعل جاذبية كوكب المشتري عند مروره بالقرب منه. تُصوّر هذه السلاسل مثالاً صارخاً لمخاطر الحياة على أقمار الكواكب العملاقة.

---

(١) J. W. Barnes and D. P. O'Brien, "Stability of Satellites Around Close-in Extrasolar Giant Planets," *Astrophysical Journal* 575 (2002): 1087-1093.

وأخيراً: من المحتمل أن مثل هذا النوع من الأقمار، إذا كان موجوداً، سيكون ذا تركيبة تختلف تماماً عن تركيبة الأرض. يتشكل نظامنا الشّمسي، والأنظمة الأخرى افتراضاً، من سديم الكواكب الأولية، وهو عبارة عن قرص مسطح من الغاز والغبار. كان بخار الماء على الأرجح، الغاز الأكثر وفرة بعد الهيدروجين والهيليوم. منعت المنطقة الداخلية الساخنة للسديم الغازات من أن تتكاثف وتصبح جزءاً من تشكل الأجنة الكوكبية. في حين أمكن للكواكب خارج «حدود تكاثف المياه» هذه، أن تضم كميات كبيرة من المياه. (في نظامنا الشّمسي القديم، كانت تقع تلك الحدود داخل مدار كوكب المشتري). ولهذا السبب نجد أن معظم الأقمار الخارجية غنية بالجليد. لذلك حتى لو كان نظام ذو قمر كبير يدور حول عملاق غازي خارجي يهاجر نحو الداخل باتجاه النطاق الصالح للحياة الخاص بنجمه، فمن المرجح أن قمره المشبع بالرطوبة يشتمل على قائمة طويلة جدّاً من المواد المتطايرة؛ كالماء وثاني أكسيد الكربون، ليكون له حظّاً أوفر في استضافة الحياة. إذا كان بإمكان الكوكب العملاق أن يتشكّل في محلّه باتجاه الشّمس من حدود المياه المتكاثفة، ستعرف أقماره المشكلة المضادة؛ أي: أنها ستحتاج إلى مواد متطايرة لتكون صالحة للحياة. الالتقاط بواسطة الكوكب العملاق أمر ممكن أيضاً، لكن جميع أمثلة الأقمار المماثلة التي تمّ التقاطها في نظامنا الشّمسي، باستثناء تريتون حول نبتون، مجرد كويكبات صغيرة متألقة[1]

---

(١) يمكن للمرء أن يجادل أنه بما أن الأقمار الغاليلية تعرض انخفاضاً نظاميّاً في المادة المتطايرة، من «آيو» الصخري إلى «كاليستو» الجليدي، فإن الأقمار بحجم الأرض ستعرف كذلك هذا الانخفاض على مجال المسافات التي تفصلها عن كواكبها المضيفة؛ يعتبر غانيميد، أكبر بشكل مثير للاهتمام، لكنه أقل حجماً من كوكب عطارد. لذلك هناك احتمال ـ على مسافة متوسطة ـ أن يوجد قمر يحتوي على المادة المتطايرة المناسبة للحياة. ومع ذلك، هناك إشكال في هذا السيناريو. من المرجح أن أغلب الاختلافات بين الأقمار الغاليلية نتجت عن الفروق في التدفئة المدية؛ حيث خضع «آيو» إلى أكبر قدر منها بينما خضع «كاليستو» إلى أقل قدر. أدى النشاط البركاني المكثف على «آيو» إلى طرد أغلب مواده المتطايرة المبدئية التي كان يتوفر عليها. وقد كان ذلك ممكناً؛ لأن جاذبيته السطحية لم تكن قوية بما يكفي لتحتفظ بموادها المتطايرة. في حالة سائلة أو حالة بخار على سطحه. وإذا كان هناك قمر بحجم الأرض في نفس المكان، فإنه سيعرف فقداناً أقل بكثير للمواد المتطايرة بفعل التدفئة المدية، مما فقده «آيو». =

لذا؛ وعلى الرغم من بعض أنظمة الكواكب العملاقة والأقمار قد تتجنب أحد هذه العوامل المؤذية، فإنها تظهر مجتمعة، أن قمراً بحجم الأرض يدور حول كوكب عملاق يوفر بيئة فقيرة جدّاً حتى بالنسبة لحياة بسيطة مما يمكن أن تقدمه بيئة تشبه نظام الأرض والقمر.

إذا تمكّنت الحياة أن تتواجد وتزدهر على مثل هذا القمر المَنوع الذي يدور حول كوكب غازي عملاق، فإن القمر سيقدم إطاراً عامّاً ضعيفاً للاكتشاف. وسوف يختبر المراقبون على أحد نصفي القمر، والذين يواجهون الكوكب سماء مظلمة لفترة وجيزة في كل شهر أثناء مروره عبر ظل الكوكب. (وحتى هذا يمكن أن يكون نادراً لو أن مدار القمر كان ميّالاً بشدة لمدار الكوكب العملاق حول نجمه المضيف). وسيرون أن كوكبهم المضيف يمر عبر مجموعة كاملة من المراحل وعدة دورات كل شهر في حين أنه يطفو ظاهريّاً في سمائهم بدون حراك. بينما لن يتمكن المراقبون في النصف الآخر من رؤية كوكبهم المضيف إطلاقاً، إلا أنهم سيحظون بعدة ليال مظلمة. وسيكون على مراقبي كلا النصفين أن يتحملوا الضوء المنعكس من الأقمار الأخرى في النّظام. وكما سنناقش في الفصل التالي، يمكن أن تبدو حركات النجوم والكواكب الأخرى في النّظام أكثر تعقيداً. كما كان من الصعب على سكان الأرض معرفة الحركات الحقيقية لمنصاتهم البسيطة إلى حدٍّ ما، فربما تكون مهمة سكاننا على هذا القمر أكثر صعوبة[1]

بمجرد كشفهم للهندسة الحقيقية لعالم موطنهم، ومع ذلك سيحظى سكان القمر بميزتين عن سكان الأرض. بحيث سيعمل مدارهم حول الكوكب المضيف بمثابة خط أساس لقياس التزيّحات (parallaxes) بالنسبة إلى الأجسام

= وبما أن وفرة المواد المتطايرة ترتفع بشكل حاد من داخل حدود تكثيف الماء فقط إلى خارجه، فإن الكوكب العملاق سيتكون على المسافة المناسبة بالضبط من نجمه المضيف ثم يهاجر إلى الداخل باتجاه المنطقة الصالحة للحياة لكي يحظى بأقمار تحتوي على مستوى مناسب من المواد المتطايرة.

(١) ومن الممكن أن سكان القمر هؤلاء سيتشبثون بفكرة أن كل شيء في الكون كان يدور حول كوكبهم المضيف العملاق.

الأخرى في نظامهم الكوكبي. (سوف نشرح هذا قليلاً في وقت لاحق).

ثانياً: سيعمل نظام الكوكب المضيف والقمر الخاص بهم بمثابة نصف نظير لنظام الشّمس والنجم الخاص بهم. ويجب أن نرضي أنفسنا بقياس التزيّحات بالنسبة إلى الكويكبات القريبة والكواكب الأرضية باستخدام سطح الأرض كخط أساس. ومع ذلك، فإن القياسات من القمر لن تكون مباشرة؛ لأن الأهداف تتحرك بينما يدور عالم وطنهم حول كوكبهم المضيف، الذي يدور في نفس الوقت حول نجمه المضيف. ولتحقيق المراد، يجب على سكانه أن يفهموا أولاً الهندسة المعقّدة للنظام الخاص بهم. وسيضطرون إلى التغلب على العقبات الهندسية لاستغلال مزاياها، وقد تتطلب إحداها مزيد من عقبات الحساب. لذلك فبالنسبة للاكتشاف العلمي، تكاليف المعيشة على القمر تفوق المنافع.

على رأس المجموعة:

تسمح لنا هذه الجولة السريعة للأجسام الكوكبية المجاورة وأقربائهم خارج المجموعة الشّمسية لوضع نظام الأرض والقمر في سياقه الصحيح. توفر الدورة الهيدرولوجية طويلة الأمد، والصفائح التكتونية، والحقل المغناطيسي المتأرجح، والقارات، والمدار المستقر، والغلاف الشفّاف، كلها معاً، أفضل «منضدة عمل مخبرية» عامة في النّظام الشّمسي. يحقق سطح الأرض توازناً صارخاً بين الاستمرارية المطلوبة للحفاظ على الأنماط المسجلة عليه والدوران الديناميكي والمعتدل فوق ذلك، الذي يحرك بمهارة هذه «الأقلام المسجِّلة» دون تمزيق قشرتها الرقيقة. تقوم القشرة بتسجيل وتخزين المعلومات مع حفاظها على البيئة الأكثر قابلية للسكن للحياة المعقّدة في النّظام الشّمسي. يبدو أن القارات بين المحيطية، المُمَكّنة بواسطة الصفائح التكتونية ـ كما يحدث حاليّاً بالأرض ـ هي أفضل البيئات العامة للمراقبين. ليست هناك مواقع أخرى تمّ اكتشافها تحمل شمعة لهذه النقطة الزرقاء الوحيدة، مهما بدت شاحبة للبعض. وهذا لا يعني أن نظامنا الشّمسي لا يلعب دوراً في الحياة والاكتشاف؛ بل على العكس تماماً. وتلك قصة أخرى.

الفصل السادس

جيراننا المساعدين

«في وسعنا.. أن نكون شاكرين لأنّ النّظام الشّمسي الذي نعيش فيه كان لطيفاً على نحو مفاجئ، على مدار تاريخ طويل من الجهود البشرية لفهم ديناميّاته ولتمديد هذه المعرفة على بقية الكون. في كل خطوة على طول الطريق، كان يخدم بمثابة مُعلّم ثاقب الفكر، يطرح أسئلة صعبة بما يكفي للمبادرة بالملاحظات والحسابات الجديدة التي أدّت إلى رؤى حديثة، وليست صعبة جداً بحيث تصبح أيّ دراسة أخرى عالقة في ورطة التّفاصيل المربكة».

ـ إيفارس بيترسون[1]

روضة الكواكب:

كانت الكواكب غير ثابتة بالنسبة للقدماء، تنساق ظاهرياً ببطء وبشكل موثوق عبر السماء، فقط لتغيير اتجاهها في محاولة واضحة لتحدي التوقعات. من السهل أن ننسى هذا قبل أن كانت تسمى الكواكب، وكانت أسماء «عطارد»، «الزّهرة»، «المرّيخ»، وهلم جرّاً أسماء لاتينية للآلهة الأولمبية غريبة الأطوار في الأساطير اليونانية والرومانية: عطارد، الرسول؛ الزّهرة، إلهة الحب والجمال؛ المرّيخ، إلٰه الحرب؛ والمشتري، الملك المدوي من بينهم جميعاً. لعبت الكواكب دوراً متواصلاً في علم التنجيم، فمثلت فيه «طاقات» الإنسان المختلفة؛ كالروح، الإرادة، والعقل: مفاهيم نعلق عليها قصصنا الشخصية، وآمالنا، وأقدارنا. وإذا كان من السهل تناسي هذه الرحلات

(١) Ivars Peterson, *Newton's Clock: Chaos in the Solar System* (New York: W. H. Freeman, 1993), 286.

الخيالية، فلربما لا زلنا نشاركها وإن بطريق مضلل وغير مدلل ومن غير شعور بأن هذه الأجسام الغريبة تلعب دوراً مركزيّاً في وجودنا. إلى أن وجد هذا الانطباع مؤخراً تعليلاً علميّاً. على الرغم من أن الأجسام المتجولة الأخرى في النّظام الشّمسي ليست محلاً مشجعاً للحياة المعقّدة، إلا أنها لم تساهم فقط فيما يتعلق بصلاحية الأرض للسكن بشكل كبير؛ بل أسهمت أيضاً في ظهور العلم، وبالتالي في الاكتشاف العلمي كذلك.

عزَّز مجرد وجود القمر والكواكب الأخرى في النّظام الشّمسي تطور الميكانيكا السماوية وعلم الكونيات الحديث[(١)] مكّنت ملاحظات الفلكي الدنماركي **تيخو براهي** (١٥٤٦ ـ ١٦٠١م) لمسارات الكواكب تجاه خلفية النجوم، **يوهانس كبلر** (١٥٧١ ـ ١٦٣٠م) من وضع قوانينه الثلاثة الشهيرة لحركة الكواكب. تطلب اكتشاف قانون كبلر الثالث (أي: أن مربع الدور المداري للكوكب يتناسب طرديّاً مع مكعب نصف المحور الرئيسي لمداره حول الشّمس) عدة كواكب مرئية. كما ساعدت في ذلك أيضاً المسافة الممتدة التي تبعد بها الكواكب عن الشّمس. في حين تطلب اكتشاف قانون كبلر الأول ـ أن المدار عبارة عن إهليلج لا دائري ـ أن يكون لكوكب واحد على الأقل مداراً انحرافيّاً مميزاً. وبالنسبة لـ**كبلر**، فقد حقق المرّيخ هذا الغرض[(٢)] لو كانت الأرض تفتقر إلى «جيران متجولين»، على غرار العديد من الأنظمة خارج الشّمسية التي تمّت مناقشتها في الفصل السابق، (تنحدر ـ على فكرة ـ كلمة «كوكب» من كلمة يونانية تعني: «متجول» «wanderer»)، لما كنا أبداً لنكتشف هذه القوانين[(٣)]

---

(١) نحن مدينون بهذا الملحظ لفيلسوف العلم روبن كولينز (Robin Collins). يشير ستانلي جاكي (Stanley Jaki) إلى نقطة مماثلة حول نظام الشمس ـ القمر في Maybe Alone في: the Universe After All, (Pinckney, MI: Real View Books, 2000).

كما فعل بيترسون، ٢٨٦، ٢٩٣، فيما يتعلق بالنظام الشمسي.

(٢) كان التغيير من المدارات الكوكبية الدائرية إلى المدارات الانحرافية نقلة نوعية مهمة في العلم أكثر من غيره. حاول كبلر لأول مرة أن يوافق مدار المريخ بدائرة، لكنه فشل. ولم يقتنع أخيراً إلا بعد جهد كبير أن مداره كان عبارة عن إهليج. فكسر التصور المعتاد القائل بأن مدارات الكواكب يجب أن تكون دوائر كاملة. يقدر انحراف مدار المريخ بـ ٠,٠٩٣؛ والأرض بـ ٠,٠١٧.

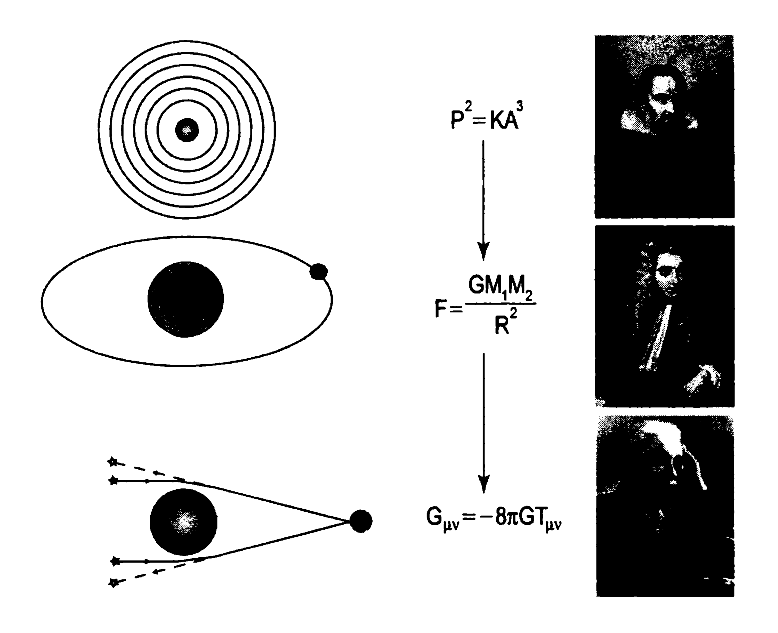
(٣) وبطبيعة الحال، فإن بعض النجوم التي يُعرف الآن أنها تمتلك كوكباً عملاقاً واحداً فقط، ربما نجد =

شكّلت القوانين التجريبية الثلاثة لـ**كبلر** بمثابة الأساس لقوانين **إسحاق نيوتن** الفيزيائية الأكثر شمولية في الحركة والجاذبية، التي أصبحت بدورها الأساس الذي بنيت عليه نظرية النسبية العامة لـ**آينشتاين** بعد قرنين من الزمن. ربما كانت الكواكب مصدر إلهام **كبلر**، لكن القمر ألهم **نيوتن** لتطبيق قوانينه الأرضية على الكون الواسع. وبدون الحركة القمرية التي تتخذ من الأرض مركزاً لها، فإن القفزة المفاهيمية من سقوط الأجسام على سطح الأرض إلى حركات الكواكب المتمركزة حول الشّمس، كانت لتكون أكثر صعوبة. بربطه حركة القمر والكواكب بالتجارب على سطح الأرض، قدم **نيوتن** أساساً ملموساً لقانون كبلر الثالث، الذي كان سيبقى فضولاً رياضيّاً ودليلاً على ذكاء عالم رياضيات بيده فائض من الوقت، أكثر من كونه حقيقة عميقة حول الكون[1] وبما أن الحال كذلك فقد أدى علم الفلك إلى نشأة الفيزياء. يحدث أن يقع المكان الأكثر صلاحية للحياة قرب نجم تحُفُّه مجموعة من الكواكب أدوارها المدارية أقصر بكثير من أعمار البشر. إن كوكباً جوالاً في فضاء بينجمي (أو حتى في عنقود مفتوح (open cluster) ليس منزلاً للحياة المعقّدة فحسب؛ بل إنه لا يمنح الفرصة حتى لاكتشاف هذه القوانين الكونية. حتى أن عباقرة من أمثال **كبلر** و**نيوتن**، كانوا بحاجة إلى روضة كوكبية لاكتشاف قوانين الحركة والجاذبية، ولإدراك انطباقها في جميع أنحاء الكون. وبما أن النسبية العامة تشكل الآن أساس النماذج الكونية، بمجرد أن فهم علماء الفلك حركات الكواكب، تبينوا طريقهم إلى فهم بنية وتاريخ الكون.

= يوماً ما أنها تمتلك كواكب أخرى أصغر حجماً، لكن غالبية النجوم تصطحب كوكباً واحداً أو اثنين.

(١) وكمثال على هذا الفضول نذكر قانون بودي (Bode's Law)، الذي نشر لأول مرة عام ١٧٧٢م من طرف عالم الفلك يوهان بودي (Johann Bode). وهو يربط التباعد النسبي للكواكب بمتسلسلات رياضية بسيطة. انظر:

P. Lynch, "On the Significance of the Titius-Bode Law for the Distribution of the Planets," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 341 (2003): 1174-1178.



● **الشكل ٦,١: الشكل الخاص بالنّظام الشّمسي كان أمراً مهمّاً في كل خطوة من خطوات تطوير نظريات الجاذبية. يستند قانون كبلر الثالث لحركة الكواكب على ملاحظات براهي بالعين المجردة. تأسس قانون نيوتن للجاذبية، جزئيّاً، على مدار القمر حول الأرض وقانون كبلر الثالث. بنيت نظرية النسبية العامة لآينشتاين على قانون نيوتن وتمّ اختبارها لأول مرة مع الكسوف الكلي الشّمسية.**

لاحظ **إيفارس بيترسون** (Ivars Peterson) أيضاً هذه المصادفة المميزة في ختام عمله «*Newton's Clock: Chaos in the Solar System*»، : (في سياق حديثه عن الفوضى الديناميكية):

يختزن هذا اللّايقين المكتشف حديثاً في معرفتنا للنّظام الشّمسي لغزاً راسخاً، هل كان من الصدفة أن مكانيكيا الأجرام السماوية للنظام الشمسي كان بسيطاً بما فيه الكفاية ليسمح بصياغة قوانين كبلر ولضمان القدرة على التّنبّؤ وفق النّطاق الزّمني البشري؟ وهل كان من الممكن أن نرتقي ونتأمّل السّماوات في نظام شمسي يحتوي على مقدار ضئيل من الفوضى هل نحن استثنائيّون على نحو خاص؟ أم أنّنا فقط محظوظون؟[١]

لكي يصيغ **كبلر** قوانينه، أعانه في ذلك أن اتجاه محور الأرض ومدارات

---

(١) Peterson, *Newton's Clock*, 293.

الكواكب لم يُظهرا أي فوضى يمكن ملاحظتها على مدى الحياة الإنسانية.

في المقابل، تخيل أنك تطفو على سطح هايبريون وهو يهوي على طول مداره حول كوكب زحل. سيكون أمراً مفقداً للاتجاه كجلوسك على كرسي يلتف بطريقة متقطعة حول دُولاب دَوّار على حافة متنزه، في حين أنك تصدق الافتراض المعقول والخاطئ، بأن كل شيء يدور حولك.

قد تعتقد مصادفة أنه بما أن وجود القمر والكواكب الأخرى يعزز قابلية القياس على الأرض، فإن نفس الشيء سيكون صحيحاً كذلك بالنسبة للأجسام الكوكبية الأخرى. والشيء الجيد بالنسبة للأرض يجب أن يكون جيداً لعطارد، أليس كذلك؟ حسناً، هذا ليس صحيحاً تماماً. يمكن أن يمنح عطارد، الذي يكمل ثلاث دورات (حول نفسه) كل دورتين (حول الشّمس)؛ والزّهرة، التي تتسم بعدم توافق طفيف بين السنة واليوم فيها (ناهيك عن سُحُبِها الغائمة تقريباً)؛ وجميع أقمار النّظام الشّمسي آفاقاً أكثر إرباكاً[1] حتى وإن كانت ديناميكية الكوكب غير فوضوية بشدة. فربما لا تزال حركاته معقّدة للغاية بالنسبة لسكانه ـ إن كانوا موجودين أصلاً ـ لاكتشاف القوانين الكوكبية بسهولة[2] يختلف طول السنة على الأرض تماماً عن طول يومها، مما يُسهّل الفصل بين تأثير الدوران حول محورها والدوران حول الشمس[3] تمنح

(١) يجعل الانحراف المداري لعطارد الأمور أكثر تعقيداً، خصوصاً خلال الحضيض (الاقتراب القصوي من الشمس) تتجاوز الحركة المدارية السريعة لعطارد دورانه البطيء، ولبضعة أيام أرضية، ستبدو الشمس وكأنها تتحرك إلى الوراء في السماء كما يراها مراقب على سطح عطارد!

(٢) يتعلق التوزيع الهرمي للكتلة في النظام الشمسي كذلك باكتشاف قوانين حركة الكواكب. إن قوانين كبلر في الواقع غير دقيقة؛ فالكواكب لا تدور حول الشمس؛ بل تدور حول مركز الثقل. بين نيوتن أن قانون كبلر الثالث، P2 = K*a3، يختلف قليلاً بالنسبة لكل كوكب، نظراً لكتلها غير المنعدمة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الجاذبية المتبادلة للكواكب تدفع مداراتها إلى الحياد عن الأشكال الإهليلجية البسيطة. كان يمكن لهذه الانحرافات الطفيفة عن قوانين كبلر البسيطة أن تكون أكثر شدة لو كانت الكواكب أكبر حجماً أو أقرب إلى الشمس من حيث الكتلة، ربما شديدة بما يكفي لتمنع اكتشاف القانون الثالث. وسنعود إلى موضوع التعنقد الهرمي في الكون في الفصل العاشر.

(٣) لا نملك أدلة تجريبية لدعم ادعائنا بأن الناس ستفضل منصة الأرض لاكتشاف قوانين حركة الكواكب عن غيرها من الأماكن في النظام الشمسي. ربما يستطيع مُشغّل مغامر للقبة الفلكية أن يضع تجربة لاختباره.

الأقمار مناظر أكثر تعقيداً. كما يقول علماء الفلك أحياناً، أن الأرض عبارة عن حركة واحدة انفصلت عن الشّمس. وأن للقمر حركتين مفصولتين عن الشّمس، بما أنه يدور حول الأرض وبالتالي الشّمس كذلك. إن إضافة طبقة أخرى متداخلة إلى منصة المراقبة سيجعل من اكتشاف وإعادة بناء الهندسة الحقيقية للمدارات أمراً صعباً. وعلى الرغم من بساطة منصتنا الأرضية. فقد تطلب أكثر من ألف سنة ـ من **أرسطو** و**بطليموس** إلى **كوبرنيكس**، **براهي**، **كبلر**، و**غاليليو** ـ بالنسبة للبشرية لمعرفة الهندسة الحقيقية للنظام الشّمسي.

القمر رفيق الأرض:

لولا وجود القمر، لأخذت هذه الرؤية فترة أطول. بغض النظر عن الشّمس، فإن القمر هو الجسم الوحيد في النّظام الشّمسي الذي يعتبر أكثر من مجرد نقطة ـ يصعب وصفها ـ من الضوء، والذي يمكن للمراقب على سطح الأرض أن يُميّزَه دون مساعدات بصرية. (فضلاً عن تفاصيل السطح واللون والحجم، وستظهر الأرض بشكل مماثل لو أنها كانت في محله بنفس المسافة؛ تدخل نفس الأطوار بينما تبدو عائمة في الفضاء). يتيح القمر جسراً مفاهيميّاً، مما يسمح لنا بتصور الأرض ككرة كوكبية جوالة. بما أن دوران الأرض حول نفسها ليس متزامناً حتى الآن بمدار القمر (كما هو الحال بالنسبة لنظام بلوتو ـ شارون)، فمن الممكن للجميع أن يرى القمر يدور حول الأرض. ولولا هذا لكان القمر مرئيّاً فقط من نصف الكرة الأرضية، حيث سيبدو بلا حراك في السماء.

والأسوأ من ذلك، افترضْ أن المراقبين يتواجدون على كوكب بدون قمر. فإن ربطهم لكوكبهم بالكوكب الأخرى في نظامهم الشّمسي، سيكون نقلة ذهنية عملاقة. يبدو سطح الكوكب، عن قرب، مختلفاً تماماً عما يبدو عليه على بعد عشرات الملايين من الأميال، حيث يتراءى كنجمة للعين المجردة. وبالطبع، ساعد اختراع التلسكوب علماء الفلك «المفطومين» من أرسطو بطليموس. ولكن التلسكوب لم يكن كافياً؛ إذ كنا أيضاً بحاجة غلاف جوي يتيح لنا تحليلاً ذا دقة عالية أفضل إلى حدٍّ كبير من دقيقة قوسية واحدة (تبلغ

الزّهرة هذا القطر الزاوي تقريباً في أقرب مواضعها من الأرض).

يجعل القمر الأرض أكثر ودية للحياة كما لاحظنا في الفصل الأول. فقد أظهرت الدراسات التي أجريت على النّظام أن القمر يحقق استقرار الميلان المحوري للأرض(١) وهو يتغير الآن بمقدار ٢,٥ درجة فقط. يؤدي هذا التّغيّر الطفيف، على مدى آلاف السنين، إلى تغيرات خفيفة في درجة الحرارة الموسمية التي نستمتع بها الآن، والتي كانت لتكون أعظم لولا وجود القمر(٢) حيث ستكون التقلبات المناخية أكبر، وبالتالي أسهل من حيث القياس. ولكن الراجح أن هذه التقلبات المناخية الكبيرة ستدمر الطبقات المترسبة خلال المواسم السابقة. وسيتمّ تبادل كميات كبيرة من الجليد بين القطبين كل نصف سنة، دون تراكم معلومات أكثر في حدود السنة. كما أن التّغيّرات الكبيرة في الميلان على مدى بضع آلاف من السنين يمكن أن تقضي على أي ترسبات جليدية طويلة الأمد يُحتمَل أنها تراكمت بالقرب من خط الاستواء. يجب أن تكون التقلبات المناخية كبيرة بما فيه الكفاية في السجل المناخي لتكون قابلة للقياس، لكن ليست كبيرة جدّاً بحيث تدمره. لذلك فإن تأثير القمر المحقق للاستقرار يحافظ على الجليد القطبي، الذي يلعب دور مُخزِّن ضخم للمعلومات التاريخية، في حين تمكّن الدّورات خارج الفلكية التي يوفرها، علماءَ المناخ من معايرة عيناتهم الرسوبية الجليدية البحرية.

وأخيراً، تزيد الحركات المدية العالية الناتجة عن جاذبية القمر من مساحة المنطقة المعرضة للفيضان الدوري. فلولا تأثير القمر على حركة المد والجزر، لكان لدينا اليوم كميات أقل الرواسب المدية الأحفورية يمكن من خلالها إعادة بناء تاريخ دوران الأرض. من جهة أخرى، لو كان القمر أكبر

---

(١) J. Laskar, F. Joutel, and P. Robutel, "Stabilization of the Earth's Obliquity by the Moon," *Nature* 361 (1993): 615-617.

(٢) هذه هي الحجة القائمة على المحاكاة الحاسوبية، لـ:

D. M. Williams and D. Pollard, "Earth-Moon Interactions: Implications for Terrestrial Climate and Life," *Origin of the Earth and Moon*, R. M. Canup and K. Righter, eds. (Tucson: University of Arizona Press, 2000), 513-525.

مما هو عليه وكانت بالتالي الحركات المدية التي يسببها أقوى، لتسبب في تباطؤ دوران الأرض بسرعة أكبر، وربما تسبب في مزامنتها الآن. بحيث يصبح الشهر بنفس مدة اليوم. مما يؤدي إلى تفاوتات كبيرة في درجات الحرارة الليل والنهار، وربما يعرض حفظ الرواسب الجليدية للخطر. وسيلوح القمر أكبر من الشّمس في الأفق، وتصبح حركة المد والجزر بشكل عام أضعف لأن الأرض ستكون فقط تحت تأثير الحركات المدية التي تحدثها الشّمس. فالاستقرار بدرجة كبيرة، إذن، لا يجعل ببساطة المكان أنسب للحياة وأكثر قابلية للقياس.

إن العلاقة بين الأرض والقمر وطيدة جدّاً لدرجة أنه من الأفضل ألّا نتصور كوكب الأرض ككوكب وحيد؛ بل كعضو قابل للحياة في نظام الأرض ـ القمر. فهذه العلاقة لا تجعل وجودنا ممكناً فقط، ولكنها تمدنا أيضاً بالمعرفة العلمية التي كنا لنفتقر إليها لولا ذلك.

تاريخ النّظام الشّمسي:

يقارب القمر الأرضي في حجمه حجم القمر أوروبا، لكنه جاف بقدر رطوبة هذا الأخير[١]، يحفظ سطحه المُنَدَّب بالحفر التي لحقت به خلال معظم تاريخه. ومع أن وجهه يبدو قديماً، إلا أنه لا يذوي (agless). وإذا كان من المفترض أن يكون سطح الأرض مُنَدَّباً بالحفر خلال الفترة نفسها نظراً لكبر مساحته وقوة جاذبيته، فإن عملية إعادة التدوير النشيطة به قد محت تقريباً كل الحفر القديمة[٢] وحتى إن كان يبدو هذا محتسباً في غير صالح العلاقة بين صلاحية الحياة والقياس، فإن سجل الصدمات على سطح القمر يبدو مرئيّاً بوضوح من سطح الأرض. كان القمر أول جسم يتمّ تصنيفه كأقرب جار كوكبي

(١) هناك تصحيح محتمل لهذه النقطة وهو الدليل الأخير على وجود كميات صغيرة جدّاً من جليد الماء في المنحدرات على المناطق القطبية للقمر.

(٢) حاليّاً، توجد حوالي ١٥٠ بنية اصطدام معروفة على الأرض، مع اكتشاف ثلاثة إلى خمسة بنيات جديدة كل سنة.

بالنسبة إلينا. لسنا بحاجة لمغادرة الأرض لإنتاج خرائط مفصلة للجانب القريب للقمر كما يعرف أي شخص يمتلك تلسكوباً صغيراً. حتى أنه لدينا بعض النيازك على سطح القمر، ورغم أنه من الممكن أننا لم نكن قادرين على تحديد مكانها الأصلي لولا توفر عينات القمر المستجلبة بواسطة رواد الفضاء لرحلة أبولو. ومع ذلك، ونظراً لأنها تأتي من جميع أنحاء سطح القمر، فإن هذه النيازك تأخذ في الواقع عينات من القمر أفضل مما تفعل بعثات أبولو.

تمكننا أنماط الفوهات على سطح القمر من إعادة بناء تاريخها ـ وهو مصدر هام للمعلومات عن التاريخ القديم للنظام الشّمسي الداخلي[١] (وفي الوقت نفسه، لا يتوفر القمر على غلاف جوي تحترق عند عبوره النيازك القادمة. ونتيجة لذلك، فهي عادة تَحْرِث (till)[٢] السطح العلوي بشدة بحيث تدمر بنى وهياكل قديمة وعميقة. مما يجعل القمر عموماً أقل احتواء للمعلومات من العمليات الترسبية المتساهلة التي نراها على سطح الأرض[٣] تشكلت معظم البحار القمرية المرئية، أو المناطق الكبيرة المظلمة، قبل ٣,٨ إلى ٣,٩ بليون سنة؛ أي: خلال ما يسمى بـ«القصف الشديد المتأخر» (late heavy bombardment). كانت نسبة الاصطدام كبيرة بما يكفي لمحو معظم سطح القمر قبل هذه الفترة. على الجانب الإيجابي، بما أن القمر هو أقرب جار إلى الأرض، يمكن ملاحظة سجل الصدمات بسهولة وترجمته لإعادة بناء

---

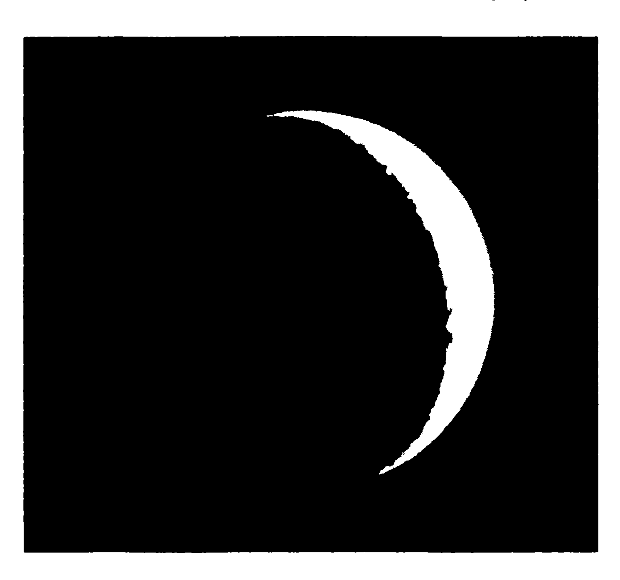
(١) يُعَدّ إحصاء الفوهات من المراصد الأرضية محاولةً ناجحة؛ لأن الماريا القمرية تقع بشكل خاص على جانبه القريب المرئي. وعلى عكس المرتفعات المشبعة بالفوهات، يقدم بحر قمري سطحاً أملس نسبيّاً يمكن أن تقاس عليه كثافة فوهة يمكن الاعتماد عليها. يستخدم علماء الفلك تقديرات كثافة الحفر من أسطح مختلفة الأعمار لإعادة بناء تاريخ الحفر على القمر.

(٢) نشرع هنا في حملة لإلغاء عبارة «بستنة الاصطدامات» من علم الفلك الكوكبي. لماذا نستعمل كلمة أكثر تعقيداً مثل «بستنة» بينما تَقصِر كلمة «حَرْث» معناها على جزء البستنة الذي يحدث بالفعل عندما تحرث النيازك الأرض، فنتفادى ما يستلزمها من معنى أن الأجسام تزرع نباتاً على فوهة الاصطدام؟

(٣) وحتى في غياب الحرث الذي تسببه، سيظل القمر فاقداً للطبقية الترسبية الناتجة في الأوساط المائية في الأرض. ولمقارنة عمليات الترسب على الأرض والقمر، انظر:

A. Basu, and E. Molinaroli, "Sediments of the Moon and Earth as End-Members for Comparative Planetology," *Earth, Moon, and Planets* 85-86 (2001): 25-43.

تاريخ الصدمات التي تلقتها الأرض، لذلك فالتجدد النشيط للقشرة الأرضية ليس إشكالاً كما قد يبدو.



● **الشكل ٦,٢: القمر بعمر ثلاثة أيام. تمّ تكبير المناطق المضاءة بنور الشّمس للكشف عن تفاصيل المناطق التي ينعكس عليها نور الأرض. يلاحظ الفلكيون نور الأرض لمراقبة التّغيّرات في ألبيدو الأرض ولمعرفة كيف سيبدو الطيف الأرضي بالنسبة لمراقب بعيد ـ وكيف تبدو لنا الأرض من مكان بعيد.**

وعلى الرغم من الحرث، هناك كنز نادر دفين تحت سطح القمر. يمكن لاصطدام على أحد الكواكب الداخلية أن يُفَجِّر الكثير من الأشياء في الفضاء، فيَكنُس معظمَها القمر والكواكب المجاورة. لذلك، فإن أجزاء من عطارد والزّهرة والأرض والمرّيخ ستكون ملقاة ومحفوظة على سطح القمر، يعود تاريخ أغلبها إلى فترة القصف الشّديد المتأخّر، لكنّ المثير للاهتمام بصورة ملحوظة هو احتمال أن تحتوي النّيازك الأرضية المدفونة تحت ثرى القمر على بقايا الحياة المبكّرة من الـ ٣,٨ المليار سنة الماضية. إنّ عدم توفّر القمر على غلاف جوي وموقعه المركزي في النّظام الشّمسي الدّاخلي، يجعل منه جامعاً (a collector) مثاليّاً للفتات الكوكبي(١) وهكذا، يعمل القمر بوصفه «عُلِّيَّة»

(١) J. Armstrong, L. Wells, and G. Gonzalez, "Rummaging through Earth's Attic for Remains of Ancient = Life," *Icarus* 160 (2002): 183-196.

الأرض؛ حيث يتمّ تخزين وحفظ البَقَايَا الأَثَرِيَّة من التّاريخ القديم للنّظام الشّمسي الدّاخلي التي تنتظر بصبر شخصاً ما ليتسلّق هناك ويقوم بجمعها.

مرآة، مرآة:

ساعد السطح الثابت الحالي للقمر علماء الفلك على إدراك التّغيّرات اللحظية في المناخ العالمي. حينما يدور القمر حول الأرض، فإنه يدخل أطواره المألوفة. لاحظ المراقبون الأكثر حذراً من بيننا أن الجزء الغير مضاء من الوجه الهلالي للقمر ليس معتماً تماماً، وهذا ما يسمى بوهج الأرض (earthshine). الذي تسببه ـ كما يوحي الاسم ـ ضوء الشّمس المنعكس من الأرض على القمر (والعائد بعد ذلك إلى أعيننا). يتصرف القمر كمرآة ضخمة في الفضاء تسمح لنا برؤية الانعكاس. وتلقائِيّاً، سيكون القمر إذا توفر على غلاف جوي أقل فائدة بكثير لقياس الألبيدو (ولدراسة كروموسفير الشّمس خلال الكسوف الشّمسي).

لا يمكننا أن نميز أي تفاصيل عن سطح الأرض بهذه الطّريقة، لكن يمكننا أن نشتق على نحو مفاجئ مقياساً دقيقاً للألبيدو الخاص بها(١) ويمكن مقارنتها بأفضل التقديرات المستمدة من ملاحظات مكلفة لقمر صناعي. تتطلب قياسات انعكاسية الأرض طويلة الأمد من الفضاء أيضاً أن تظل الأدوات مستقرة لعدة عقود ـ وهي مهمة ليست بالسهلة، في المقابل، نجد أن سطح القمر كمرآة مستقرة جدّاً، بحيث يتيح قياسات موثوقة على مدى عدة قرون.

= يجمع القمر شظايا ليس فقط من الأرض القديمة فحسب؛ بل أيضاً من المريخ القديم والزهرة. وبما أن لا شيء بقي على كوكب الزهرة منذ أيامها الأولى، ربما يوفر القمر مصدراً فريداً للمعلومات حول هذا الكوكب.

(١) استمدت إحدى مجموعات البحث متوسط الألبيدو الأرضي بقيمة ٠,٢٩٧ ± ٠,٠٠٥ من الملاحظات التي تم الحصول عليها في Big Bear Solar Observatory بكاليفورنيا.

P. R. Goode, et al., "Earthshine Observations of the Earth's Reflectance," *Geophysical Research Letters* 28 (2001): 1671-1674.

انظر أيضاً الموقع الإلكتروني:

http:// www.bbso.njit.edu/ Research/EarthShine/.

وبفضل مرآتنا القمرية، يمكننا قياس كمية عالمية ألبيدو الأرض بشكل موثوق، انطلاقاً من مرصد واحد على الأرض. فمعرفة الألبيدو المتوسط وتغيره عبر الزمن أمر بالغ الأهمية لفهم مناخنا؛ إذ إنه يمكننا أيضاً من الحصول على طيف الأرض كما سيبدو لمراقب بعيد، وهذا يساهم في البحث على كواكب أخرى شبيهة بأرضنا[١]

التلسكوب القمري:

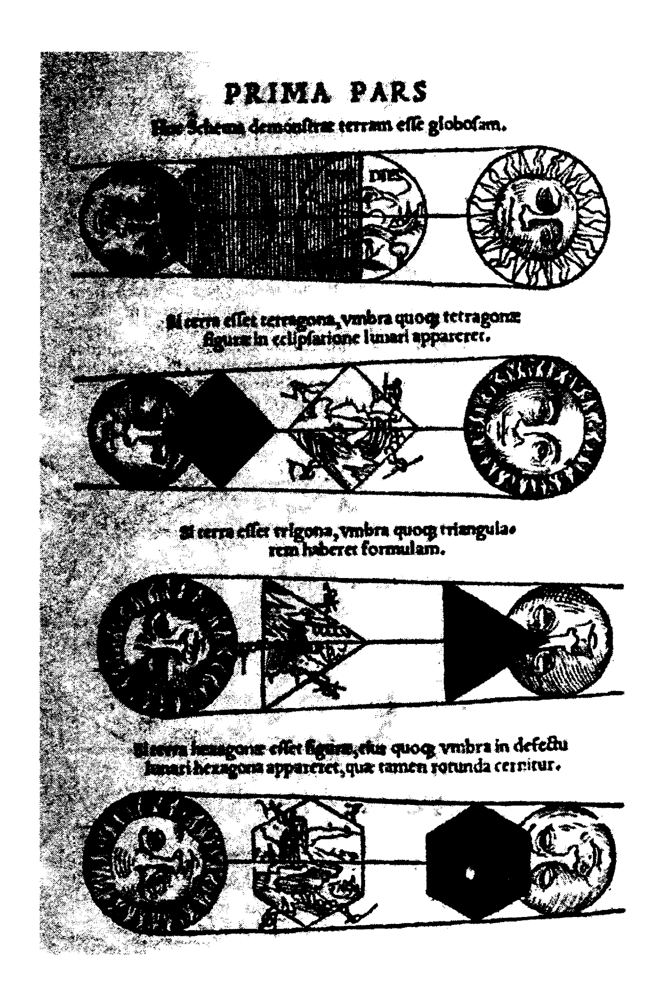
يساعد القمر أيضاً علماء الفلك في دراسة المزيد من الظّواهر البعيدة. أثناء تحرّك القمر في السّماء، يمكن لعلماء الفلك قياس الأقطار الزاوية للنجوم واكتشاف نجوم ثنائية جديدة من خلال تحديد الوقت اللّازم لتغطيتها أو حجبها. وبفضل حجمه الزّاوي الكبير، يحجب القمر النّجوم على طول مساره. وبهذه الطّريقة، يعمل نظام الأرض ـ القمر كتلسكوب عملاق، مما يسمح لعلماء الفلك بتحليل الأجسام صغيرة جدّاً عادة أو قريبة من بعضها لقياسها من على الأرض. تتيح السّرعة الزّاوية لقمر معين في سماء كوكبه المضيف؛ كقمرنا، الحصول على مزيد من القياسات المفصّلة. تعمل هذه الطّريقة بشكل أفضل بوجود قمر كبير بدون غلاف جوي ـ الذي ينتج حافّة حادّة حدّة السّكّين ومسنّنة على أطرافه ـ يدور بعيداً عن كوكبه المضيف (لكن ليس بعيداً جدّاً لأنّه كلّما بدا القمر صغيراً، كلّما كانت النّجوم التي يحجبها أقلّ على طول الشّهر).

يعمل القمر والأرض معاً كنظام واحد ـ كوكباً مزدوجاً، كما كانا جيولوجيّاً، يكاد يكونان ضدّين. يفتقر القمر إلى الماء، الجيولوجيا النّشطة، وإلى غلاف جوي، في حين تحظى الأرض بكلها على نحو وافر جدّاً. تسمح هذه العلاقة التّكاملية باكتشافات أعمق وأكثر شمولاً من مجموعة من الظّروف وحدها.

---

(١) انظر:

N. J. Woolf et al., "The Spectrum of Earthshine: A Pale Blue Dot Observed from the Ground," *Astrophysical Journal* 574 (2002): 430-433.



● **الشكل ٦,٣: في هذا المخطط من كتاب ذو شعبية في علم الفلك خلال القرن السادس عشر (١٥٤٠م)، يوضح بيتر أبيان (Peter Apian) حجة معروفة منذ أرسطو: يبيِّن شكل ظل الأرض على القمر أن الأرض كروية. يقارن أبيان الظل الذي تحدثه أرض كروية بشكل الظلال التي كان سيتمّ إسقاطها لو أن الأرض كانت مربّعاً، مثلّثاً، أو مسدّساً.**

السّلم المحلّي للمسافات:

لكن مجرد تبين قوانين الحركة والجاذبية لن يفتح أسرار الكون. تظهر المسافات حسابات بشكل بارز جدّاً.

تاريخيّاً، يعمل القمر باعتباره حجراً أساساً هامّاً في تأسيس مقياس حجم النّظام الشّمسي[1] تبدأ القصة مع أرسطو والآثينيين، الذين كانوا

(١) Jaki, *Maybe Alone in the Universe After All*, 20-26.

يعرفون سابقاً الشكل الكروي للأرض من خلال ملاحظة ظلها المنحني على القمر أثناء ظواهر الخسوف القمري[1] (انظر: اللوحة ١٣).

يتطلب اعتلاء الدرجة الأولى فيما يسمى بـ«سلم المسافة الكونية»، فهم شكل وحجم الأرض[2] حوالي ٢٠٠ سنة ق.م، قام إراتوستينس القيرواني بحساب حجم الأرض بقياس موقع الشّمس من سمت الرأس (النقطة من الكرة السماوية الواقعة فوق رأس المشاهد مباشرة). في مدينتين بعيدتين من بعضهما على طول نهر النيل، تنحاز ـ بشكل مساعد ـ إلى الشمال والجنوب. فأشار إلى أنه في يوم معين من السنة، أشرقت الشّمس مباشرة في قعر بئر عميق في أسوان، جنوب مصر، في حين كانت منحرفة بسبع درجات جنوباً عن سمت الرأس في الإسكندرية، شمال مصر. بمعرفة المسافة بين المدينتين، وعلى افتراض كروية الأرض وأشعة ضوء الشّمس المتوازية، قدّر إراتوستينس محيط الأرض بحوالي ٢٩,٠٠٠ ميل، وهو تقدير يتجاوز القيمة الحالية التي تقدّر بـ٢٥,٠٠٠ ميل، بنسبة ستة عشر في المئة تقريباً.

الخطوة التالية في سلم المسافة هي المسافة إلى القمر. كانت المحاولة الأولى من قبل هيبارخوس من نيقية، الذي استخدم ملاحظات الكسوف الكلي للشمس في ١٤ آذار/مارس، ١٨٩ ق. م[3] أشار إلى أن الشّمس كانت محجوبة تماماً في هيليسبونت (Hellespont)، بينما كانت معتمة بنسبة ثمانين في المئة فقط، في الإسكندرية. ويتمثل الفرق الواضح في تأثير التزيح؛ إذ يبدو أن القمر أقرب إلى أن يتزيح بشكل أكبر من الشّمس. يمكنك أن ترى

---

(١) تخيل كيف سيبدو خسوف القمر من كوكب آخر. على سبيل المثال، قد يبدو خسوف أحد الأقمار الغاليلية مختلفاً تماماً بالنسبة لسكان قمم السحاب في المشتري. وبما أن كوكب المشتري أكبر بكثير من أقماره، فإن تمييز منحنى ظله سيكون أكثر صعوبة. ويمكن أن يقال الشيء نفسه عن القمرين الصغيرين حول المريخ. بشكل عام، يكون منحنى ظل الكوكب هو أكثر وضوحاً عندما لا يكون قمره أصغر بكثير من كوكبه الأب.

(٢) ومن المقدمات المفيدة جدّاً والمحدثة في قياس المسافة في علم الفلك هي لـ:
S. Webb, *Measuring the Universe: The Cosmological Distance Ladder* (Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 1999). A less technical and more historical treatment is by Kitty Ferguson, *Measuring the Universe: Our Historic Quest to Chart the Horizons of Space and Time* (New York: Walker, 1999).

(٣) Webb, *Measuring the Universe*, 28-32.

نفس التأثير إذا قمت بوضع الإبهام ببُعد ست بوصات تقريباً أمام وجهك، ثم أغلقت كل عين على حدة بشكل متوال، سيبدو أن إبهامك يقفز بالنسبة إلى الخلفية. وهذا لأن زاوية الرؤية تتغير من العين الواحدة إلى الأخرى. كلما كان الإبهام أقرب، كلما وضحت الحركة. لتحديد المسافة إلى القمر، يحتاج المرء فقط أن يعرف بِكَم تختلف الزاوية هيلاسبوت/القمر/الشّمس عن الزاوية الإسكندرية/القمر/الشّمس، والمسافة الخطية بين المراقبَيْن. قام هيبارخوس بتقريب مسافة القمر بحوالي خمسة وسبعين أنصاف أقطار الأرض عنا، وهو رقم ليس بعيداً عن القيمة الحالية التي تقدر بستين أنصاف أقطار الأرض[١]

في أوائل القرن الثالث قبل الميلاد، ابتكر أرسطرخس ساموس طريقة هندسية لقياس المسافات إلى القمر والشّمس[٢] وجادل أن الأرض والقمر والشّمس يشكلون مثلثاً قائم الزاوية، مع موضع القمر في الزاوية القائمة عندما يكون طوره في ربعه الأول أو الثالث.

من حيث المبدأ، يمكن للمرء أن يقدر مسافة الشّمس عن القمر من خلال قياس الزاوية بين الشّمس والقمر خلال أحد هذه الأطوار القمرية. من الأفضل أن تتمّ هذه التجربة في النهار، عندما يكون كل من الشّمس والقمر على مستوى أعلى في السماء[٣] وبهذه الطّريقة قدر أرسطرخس أن تكون الشّمس على مسافة أبعد بعشرين مرة مما يبعد به القمر.

اليوم، نعلم أن القيمة هي ٣٩٠. لذا فإن طريقة أرسطرخس لا يمكن أن تفيد في حساب المسافة الحقيقية للشمس، سوى في حدٍّ أدنى. وسيكون على المراقب أن يقيس الزاوية بين الشّمس والقمر في غضون ثماني دقائق قوسية للحصول على مسافة مفيدة[٤]

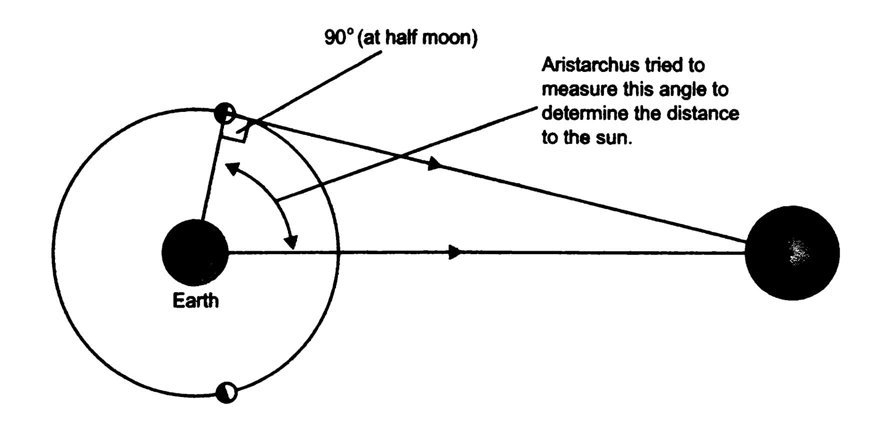
---

(١) وجد هيبارخوس أيضاً تقريباً للمسافة إلى القمر باستخدام خسوف القمر. انظر:
Webb, *Measuring the Universe* 32-34.

(٢) انظر:
A. H. Batten, "Aristarchos of Samos," *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* 75:1 (1981): 29-35.

(٣) ويمكن أيضاً أن تتم من خلال مقارنة المجالات الزمنية بين الربعين الأول والثالث في مقابل الربعين الثالث والأول، لكن هذا سيتطلب اعتباراً متأنياً لمدار القمر غير الدائري.

(٤) إن مثل هذا القياس ممكن نظرياً بالعين المجردة، لكن هذا يتعذر من الناحية العملية بسبب سطح القمر =



● **الشكل ٦,٤: تتطلب طريقة أرسطرخس لتقدير المسافة إلى الشّمس قياس الزاوية بين الشّمس والتربيع الأول (أو التربيع الثالث) من القمر. باستخدام هذه الطّريقة، أدرك الإغريق أن الشّمس أكبر بكثير من الأرض. الأحجام النسبية والمسافات الفاصلة ليست ممثلة وفق السلم.**

ومع ذلك، فإن نتيجة أرسطرخس كانت جيدة بما يكفي لإقناعه بكبر حجم الشّمس، ودعم افتراضاته حول مركزية الشّمس وموضعها وكذا حركتها بالنسبة إلى الأرض والقمر. بجمع مسافات الأرض إلى الشّمس والقمر مع حجمها الذي تمّ تحديده بتقريب إراتوستينس وأرسطرخس للأحجام النسبية للأرض والقمر المستقاة من ظواهر الخسوف القمري وتزيح القمر، استطاع الإغريق تقدير الأحجام المطلقة والمسافات الفاصلة بين هذه الأجسام الثلاثة. كانت بعض تقديراتهم بعيدة جدّاً (عن القيمة الحقيقية) بالنسبة للمعايير الحالية. ومع ذلك، فباستخدام ملاحظات العين المجردة فقط، تمكنوا من وضع الأرض في المنظور الصحيح بالمقارنة مع الضوئين الرئيسيين في السماء. يمكن أن تصبح طريقة أرسطرخس لقياس المسافات النسبية إلى القمر والشّمس غير عملية إذا ما تمّ تطبيقها على أي كوكب آخر يحمل قمراً في النّظام الشّمسي؛ لأن الزاوية التي يكونها القمر خلال تربيعه الأول أو الثالث مع الشّمس سوف تتغير من تسعين درجة أو أقل بالنسبة لمراقب مرتبط بالأرض.

= غير المنتظم. ومن المفروض أن تجعل القياسات التلسكوبية خاصة عند استعانتها بالتصوير الفوتوغرافي، هذه المهمة سهلة نسبيّاً.

توفر الأرض مرة أخرى خطّاً مرجعياً مفيداً في القرن التاسع عشر، عندما حاول علماء الفلك تحديد الحجم المطلق للنظام الشّمسي. بما أن القانون الثالث لكبلر أمدهم بالمسافات النسبية للكواكب المعبّر عنها بدلالة المسافة بين الشّمس والقمر ـ أو الوحدة الفلكية أو ـ (AU) فكل ما كانوا بحاجة إليه هو مسافة مضبوطة بين الأرض وجسم آخر يدور حول الشّمس. أمدنا أرسطرخس بمسافة أولية للأرض عن الشّمس فقط، والأمل الكبير الذي كان يحمله فلكيو القرن السابع عشر إلى القرن العشرين هو القياس الدقيق لتزيح جسم آخر غير القمر من النّظام الشّمسي. تقام قياسات التزيح دائماً مع الأخذ بجسم آخر بعيد كمرجع والذي نفترض أن له تزيحاً مهملاً مقارنة بالجسم القريب. من الصعب جدّاً قياس تزيح الشّمس مباشرة نظراً لإشعاعها وحجمها؛ لذا من الأفضل أن يكون الجسم صغيراً وخافتاً بحيث تسهل مقارنته بالنجوم في الخلفية.

لحسن الحظ، يوفر النّظام الشّمسي الكثير من الأهداف المحتملة. قام علماء الفلك المهتمّون بقياس نطاق النّظام الشّمسي بتجريب التلسكوبات على كوكب المرّيخ، نظراً لقربه من الأرض كل بضع سنين عندما يقابله. بدأت المحاولات الجدية الأولى بواسطة مراقبين تفصلهم نطاقات واسعة في القرن السابع عشر. فاغتنم المراقبون فرص المرور القريب جدّاً خصوصاً من النجوم المضيئة. ويقع القياس المعاصر الأكثر موثوقية لتزيحه بتاريخ ١٨٧٧م. ولكن غلاف المرّيخ الجوي وقطره الزاوي يحد من دقة تزيحه. والأفضل منه كويكب يقترب بشكل دوري من الأرض ويبعد بمتوسط مسافة مختلفة عن الشّمس (ما يعني: أنه لا بد أن يكون له مدارٌ انحرافيٌّ). من بين الكويكبات الكبيرة القليلة التي تأتي قريبة بما فيه الكفاية من الأرض وتتيح قياسات عالية الدّقة للتّزيحات، يحتل إيروس أهمية كبرى تاريخيّاً. في عام ١٩٣١م، أنتج الجهد الدولي لعلماء الفلك لمراقبة إيروس خلال مرور قريب من الأرض القياس الأكثر دقة لمسافة الأرض عن الشّمس إلى حين ظهور علم الفلك الراداري بعد بضعة عقود.

يُعَدُّ سطح الأرض مناسباً تماماً لقياس حجم نطاق النّظام الشّمسي. يعمل حجم الأرض، وتوزيع قاراتها، ووضوح مصادر الضوء خارج الأرضية الملاحظة من خلال غلافها الجوي، بالاتحاد مع القمر وبعض الكويكبات كوسيطة مفيدة في عدة قياس مجهزة تجهيزاً جيداً، مما مكننا من تحديد مكاننا في النّظام الشّمسي.

حُماة الكواكب:

مرة أخرى، تعزز مميزات بيئتنا الملائمة للاكتشاف العلمي، صلاحية الحياة على كوكب الأرض. وقد تحدثنا بإيجاز عن دور القمر والكواكب العملاقة في هذا كله. يمثل كل من المشتري وزحل حماة الكواكب الأكثر أهمية، ذلك أنها تقوم مقام الدرع بالنسبة للنظام الشّمسي الداخلي من القصف الشديد للمذنبات(١) ومع أن هذا ينبغي أن يكون موضوع بحث مكثف في المستقبل، فإننا نشك أن يكون للكواكب الأخرى دورٌ أيضاً في الحفاظ على صلاحية الحياة على كوكب الأرض.

أولاً: إن مجرد وجود الكواكب الأخرى في النّظام الشّمسي الداخلي يقلل من عدد الكويكبات والمذنبات التي تضرب الأرض، للسبب البسيط أن الجسم الذي يضرب أحد الكواكب الأخرى لم يعد في الأنحاء ليصدم الأرض. يعتمد قدر الحماية التي تضيفها الكواكب الأخرى على مساحتها المشتركة وقربها من كوكب الأرض. وبالتالي؛ فالزّهرة ككوكب قريب، وبحجم الأرض تقريباً، توفر أكبر قدر من الحماية في النّظام الشّمسي الداخلي. بينما يقع المرّيخ، على الرغم من أنه أبعد قليلاً مقارنة بكوكب الزّهرة، بالقرب من حزام الكويكبات الرئيسي. ومن شبه المؤكد أنه تلقّى بضع

---

(١) انظر:

J. I. Lunine, "The Occurrence of Jovian Planets and the Habitability of Planetary Systems," *Publications of the National Academy of Sciences* 98, no. 3 (2001): 809-814.

والدراسة الكلاسيكية حول العلاقة بين كوكب المشتري وصلاحية الحياة على الأرض هي لـ:

G. W. Wetherill, "Possible Consequences of Absence of Jupiters in Planetary Systems," *Astrophysics and Space Science* 212 (1994): 23-32.

ضربات من الكويكبات والمذنبات نيابة عنا. ثم القمر؛ كمنظف آخر لغبار النّظام الشّمسي. يمتلك حوالي سبعة في المئة فقط من مساحة سطح الأرض، وبالتالي فإن الحماية التي يوفرها صغيرة لكن لا يستهان بها(١) لاستبانة المعنى من الاصطدامات التي كابدتها الأرض، فلتلق مجرد نظرة على ندوب القمر عبر تلسكوب صغير(٢)

هناك طريقة ثانية افتراضية بشكل مسلم به، فيما يتعلق بكيفية مساهمة الكواكب الأخرى في وجود الحياة الأرضية. في وقت مبكر من تاريخ النّظام الشّمسي، من المرجح أن الأرض قد شهدت عدة اصطدامات بالكويكبات الضخمة، من الممكن أن بعضها تسبب في تبخر محيطاتها، وتعقيم الكوكب بأسره(٣) وأن هذه الاصطدامات قذفت عدة شظايا من سطح الأرض نحو الفضاء. ومن المحتمل أن تكون إحدى هذه الشظايا الأرضية قد خصبت (seeded) سطح المرّيخ بكائنات حية(٤) وهكذا، فإن المرّيخ، أو حتى الزّهرة، لو كانا كوكبين مستضيفين للحياة في وقت مبكر، كان يمكن أن يعملا بمثابة سطح تخزين مؤقت لتاريخ الحياة ريثما تتعافى الأرض من الاصطدام المعقم، لو أن اصطداماً تالياً لحق بالمرّيخ، لكان يمكن أن يتمّ إعادة تخصيب الأرض؛ إذ سيفتقر كوكب منعزل إلى مثل هذه الملاجئ المؤقتة للحياة (سنعود إلى هذا الموضوع في الفصل التالي). إن نفس العمليات التي تشكل النّظام

---

(١) على وجه الدقة، يختلف المقطع العرضي الحقيقي للقمر قليلاً عن سبعة في المئة؛ لأن جاذبية الأرض تضاف إلى المقطع العرضي المادي. وبالتالي، فإن نسبة الاصطدامات على القمر إلى الأرض تعتمد على المسافة التي يبعد بها القمر، والتي كانت تتزايد منذ تشكله.

(٢) هناك مصدر آخر للبيانات المتعلقة بالاصطدامات الكبيرة التي يمكن أن تكون قد حدثت على الأرض، وهي الفوهات الصدمية التي خطّها مسبار ماجلان على الزهرة سنة ١٩٩٠. وبسبب سطحه الحديث العهد نسبيّاً، لم تحفظ على سطحه إلا الاصطدامات الممتدة من ٥٠٠ إلى ٧٠٠ مليون سنة الأخيرة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الغلاف الجوي السميك لا يسمح بوصول الأجسام الصغيرة إلى سطحه. وبالتالي فإن عدد الفوهات ليست سوى حد أدنى على العدد الإجمالي للأجسام الصادمة.

(٣) N. Sleep et al., "Annihilation of Ecosystems by Large Asteroid Impacts on the Early Earth," *Nature* 342 (1989): 139-142.

(٤) C. Mileikowski et al., "Natural Transfer of Viable Microbes in Space: 1. From Mars to Earth and Earth to Mars," *Icarus* 145 (2000): 391-427.

الكوكبي تترك أيضاً فائضاً من الكويكبات والمذنبات؛ لذلك نفضل كوكباً أرضيّاً تقيه الكواكب المجاورة من حوله عن كوكب معزول يدور حول نجمه. ومع ذلك فإن تواجد الكثير من الكواكب من شأنه أن يقلل من استقرار النّظام، والنّظام الأكثر صلاحية للحياة وقابلية للقياس هو نظام مع أكبر عدد من الكواكب في حدود ما تسمح به محددات الاستقرار. ويبدو أن الأرض تنتمي إلى نظام كهذا. من يدري ماذا يوجد أيضاً من المعالم الغريبة في النّظام الشّمسي التي تساهم في صلاحية الأرض للحياة؟ ما زال ينتظر هذا السؤال بحوث المستقبل واكتشافاته.

منزل داخل النّظام الشّمسي:

من الجيد أن الأرض ليست يتيمة، رغم أن قلة أدركوا هذا حتى وقت قريب. يدعم القمر والكواكب الأخرى صلاحية الأرض للحياة، وقدرة سكانها على قياس الكون واستكشاف قوانينه. والآن بدأنا للتو، بتقدير مدى ندرة تكوين مجموعتنا الشّمسية؛ بل وتقدير كم هو حاسم أيضاً بشكل مثير للدهشة أهميته للحياة والاكتشاف العلمي. لقد كان هذا الكوكب معلماً حاذقاً بالفعل. وبالنظر إلى الاتجاهات الحديثة في علوم الكواكب، ربما علينا أن نبدأ في النظر إلى الأرض ومحيطها بوصفه نظاماً دقيقاً ومترابطاً، يرعى بتمامه واحة صغيرة وغريبة، ومثلما كان حساء الدب الصغير في قصة غولديلوكس فالأرض مرة أخرى، مناسبة تماماً.

الباب الثاني

الكون الشاسع

الفصل السابع

مسابير النجوم

تكتنف هذا النّور النّجمي المتكشّف كتابة مشفّرة عجيبة. بعض من الأشعّة مندثِر، وبعضها الآخر مؤيّد بإشراق. والفروق بينهما تتدرّج ولا تحصى. فتكوّن شفرة من الإشارات، لتَنقل إلينا ما إن نحلّ الرّموز التي خُطت بها، معلومات الطّبيعة الكيميائية للغازات الفلكية.. إنّ اكتشاف شفرة الإشارات هذه وتفسيرها، هو ما جعل ترقّي علم الفلك الجديد أمراً ممكناً.

ـ وليام هاغينز(1)

ضوء النجوم، النجم الساطع:

عندما نظرت الشعوب القديمة إلى سماء الليل المرصعة بالنجوم، رأوا صوراً حيّة، فنسجوا منها حكايات أسطورية. تتكرر على إثر الكثير من هذه الصور أو «الأبراج» (constellations) كبرج ليو، الأسد؛ برج الثور، الثور؛ وبرج العقرب، العقرب، مواضيع داخل الثقافات المتنوعة. وهذا أمر مستغرب؛ لأن هذه الأبراج نادراً ما تشبه الكائنات المرتبطة بها. وإلى جانب معانيها الميثولوجية، فإن الكثير من الناس ربطوا دلالة كونية بحركة الأبراج في السماء، مما يوفر فرص عمل مجزية لحشود من المنجمين. ذهب الإغريق والرومان بعيداً في تحديد النجوم بواسطة الآلهة المتنوعة. وفي المقابل، فإن رؤية الكتاب المقدس الصارمة لخلق النجوم تصفها بأنها مجرد أشياء مخلوقة:

---

(1) من:

The Book of the Cosmos: Imagining the Universe from Heraclitus to Hawking, ed. D. R. Danielson (Cambridge: Helix Books, 2000), 319.

«وقال الله: لتكن أنواراً في جلد السماء لتفصل بين النهار والليل، وتكن لآيات وأوقات وأيام وسنين. وتكن أنواراً في جلد السماء لِتُنير على الأرْض. فكان ذلك». (سفر التكوين ١ : ١٤ ـ ١٥، NIV).

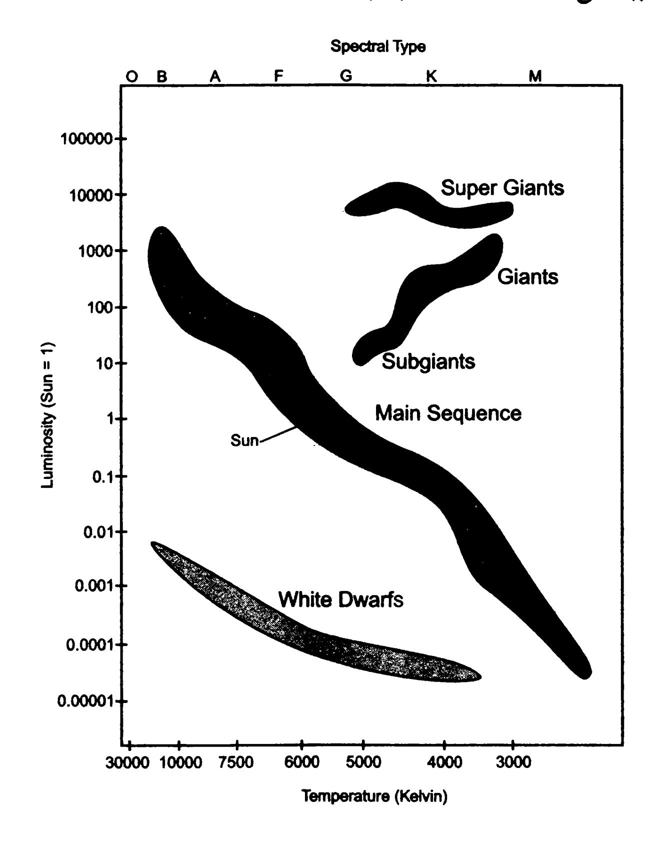
بينما كان البشر يتكهنون حول طبيعة النجوم لآلاف السنين، لم نتبين طبيعتها الحقيقية إلا في الآونة الأخيرة. ففي مطلع القرن التاسع عشر، في عهد أوغست كونت، أبي الوضعية، كان الأمر مختلفاً تماماً، كان التحليل الطيفي علماً حديث العهد، وكان لا يزال إيجاد التعبير الرياضي للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة بعيداً بعقود. في ذلك الوقت، قام العلماء بقياس درجة حرارة مادة بواسطة ترمومتر، فحددوا مكوناته بتطبيق سلسلة من الاختبارات المخبرية مستخدمين معظم حواسهم. لكننا لا نستطيع وضع نجم في أنبوب اختبار لنجري عليه اختبارات كيميائية، كما لا يمكننا أن نحلق إلى الشّمس ثم نلصق ترمومتراً على سطحها. ومع ذلك فليس من الغريب أن كونت، وثلة من معاصريه، افترضوا أن درجات الحرارة وتراكيب النجوم ستظل قابعة خارج حدود العلم إلى الأبد[١] لماذا يكون الكون مبنيّاً بحيث يمكننا الحصول على هذه المعرفة الموثوقة كحملنا لشيء بين أيدينا؟ لكن كونت كان مخطئاً. فالنجوم ليست مجرد كرات غازية كامدة وساخنة فقط. كان ينظر **ويليام هاغينز**، أول عالم في التحليل الطيفي إلى النجوم ككتب مشفرة ينبغي أن نتعلم لغتها بغرض التمكن من ترجمتها حرفيّاً، النجوم مسابير فضائية تبث الضوء باستمرار في جميع الاتجاهات، فتنقل المعلومات عن نفسها وبيئتها المحلية على مسافات شاسعة ـ في الواقع، ما يكفي من المعلومات، لإبقاء الآلاف من الفلكيين مشغولين جدّاً. إن النجوم بسيطة

---

(١) كما قال كونت: «ما زلت أعتقد أن متوسط درجة حرارة النجوم ستظل تنفلت منا إلى الأبد. في مثل هذه الحالة، أنا لا أعتقد أني أقيد علم الفلك كثيراً من خلال تكليفه باكتشاف القوانين التي تحكم الظواهر الهندسية والميكانيكية التي تقدمها الأجرام السماوية، هذا، وهذا فقط».

The Essential Comte: Selected from Cours de Philosophie Positive, Margaret Clarke, trans. (London: Croom Helm, 1974), 76.

نسبيّاً، ومع ذلك فإن معظمها كروية الشكل تقريباً، مما يسمح لعلماء الفلك بوصف بنيتها ببعض المعادلات البسيطة.



● **الشكل ٧,١: مخطط هرتزشبرونج ـ راسل للنجوم القريبة. عند تنظيم النجوم بحسب سطوعها ودرجة حرارتها، تخضع إلى نمط واضح. بالنسبة للنجوم المتموضعة في القطعة الرئيسية والتي تضم حوالي ٩٠ من النجوم القريبة؛ فالأكثر إضاءة هي الأكثر سخونة. تسمح مثل هذه المعلومات المنظمة لعلماء الفلك بمعرفة الكثير عن النجوم، حتى على مسافات شاسعة.**

للنجوم خاصيتان من خصائصها الأساسية: سطوعها ـ الضياء المطلق ـ ودرجة حرارة سطحها. في وقت قريب من الحرب العالمية الأولى، أدرك الفلكي الأمريكي **هنري نوريس رسل** والفلكي الدنماركي **هرتز سبرنج** مستقلين، أن النجوم الأكثر سطوعاً تميل إلى كونها أكثر سخونة. وسُمي الرسم البياني الذي يوضح هذا ـ مع تمثيل السطوع على المحور الرأسي، ودرجة الحرارة على المحور الأفقي ـ بمخطط هرتزشبرونج ـ رسل

(Hertzsprung-Russell) أو مخطط (H-R). يستخدم هذا المخطط أنواعاً مختلفة من مؤشرات درجة الحرارة، أبسطها مؤشر اللون الفوتومتري (خاص بقياس الضوء)، الذي يتمّ تحديده عن طريق ضياء النجم عبر مرشحين (filters) مختلفي اللون. ومؤشر آخر يدعى بالنمط الطيفي (spectral type)، الذي يتمّ تحديده انطلاقاً من الطيف الضوئي. عندما وُضع هذا المؤشر في الأصل، كان مبنيّاً على قوة خطوط امتصاص الهيدروجين في الأطياف. فقام علماء الفلك بوضع النجوم مع أقوى خطوط الهيدروجين في بادئ الأمر، معتقدين أن خطوط الهيدروجين القوية ستترجم إلى درجة حرارة، ولكن هذا لم ينجح؛ لأنهم أدركوا في وقت لاحق أن ترتيب قوة خط الهيدروجين لا ترتبط بكل بساطة بدرجة الحرارة. والآن غدا الأمر محيِّراً. وبهدف خفض درجة الحرارة، فإن نسق النمط الطيفي الخاص بالنجوم يرد كالتالي: O, B, A, F, G, K, M، التي من حسن الحظ أن **رسل** وضع لها موجزاً تذكاريّاً: (*Oh be a fine girl; kiss me*)[1]

داخل النجوم سبر صوتي عميق:

بتوفر علماء الفلك على الخصائص الأساسية للنجوم، يمكنهم استنباط بنيتها الداخلية بمساعدة المعادلات التي تصف قوانين الفيزياء البسيطة التي تمّ اكتشافها على سطح الأرض. لكن كيف يمكن أن يتحققوا من هذه الحسابات؟ توفر قوانين الفيزياء مجدداً، اختبارات مضمَّنة.

أولاً: يمكن للفلكيين قياس التذبذبات صغيرة المدى (amplitude) على سطح الشّمس، الناتجة عن الموجات الصوتية لمختلف الأطوال الموجية التي تعبر باطنها. ذلك أن الموجات مختلفة الأطوال تُنمْذج (sample) بشكل تفضيلي مناطق مختلفة من باطن الشّمس (مع العلم أن أطول الموجات تُنمْذج

(١) يستخدم الفلكيون أقساماً أكثر دقة داخل كل فئة من فئات النمط الطيفي. وهكذا، فإن نجماً من نوع G0 أكثر حرارة قليلاً من الشمس، التي هي نجم من نوع G2.

الطبقات العميقة)؛ إذ إنها تقدم للفلكيين ما يكفي من الأدلة لاختبار نماذجهم للبنية الداخلية للشمس. وكما تساعدنا الموجات المتولدة عن الهزات الأرضية في اكتساب المعلومات حول باطن الأرض، تقدم لنا الموجات الصوتية معلومات حول المناطق الداخلية لباطن الشّمس اللامرئي إلى سطحها المرئي. وبما أن الشّمس كرة غازية بسيطة نسبيّاً، فإنه من السهل نمذجتها بخلاف البنية الداخلية المعقّدة للأرض[1] لا يمكننا أن نرسل مسابير إلى الشّمس، ثم نضع أجهزة قياس الزلازل على سطحها. لكن وبما أن هذا الأخير عبارة عن غاز ساخن ومتوهج، فبإمكاننا التقاط ذبذباتها عن بعد.

ومع أن تأثيرات الموجات صغيرة، يمكن لعلماء الفلك التقاطها بواسطة منظار التحليل الطيفي؛ لأنها تؤثر على حركات الغاز الشعاعية ـ يعني: تلك الحركات التي تقع على امتداد خط الأفق ـ على سطح الشّمس. تغير الموجات أيضاً ضغط الغاز عند تموجها صعوداً وهبوطاً، مُغيّرة إلى حد ما درجة حرارته، وتزيد من ضياء رقعة معينة من سطح الشّمس. لذلك تَظهر أيضاً هذه التذبذبات كتغيرات طفيفة في ضياء سطح الشّمس. إن اتحاد علم الفلك الشّمسي والفيزياء التجريبية يجعل من السيزمولوجية (علم الزلازل) الشّمسية (helioseismology) مؤسسة مشغولة، كما يوسع معرفتنا إلى النجوم البعيدة. تعرض بعض النجوم نبضاً يُمكِنُ استِبانَتُه بسهولة. نرصد من بين أنواعها نوعاً واحداً وهو المتغيّر القيفاوي الكلاسيكي (the Classical Cepheid)، الذي يعتبر بشكل خاص مفيداً لعلماء الكون، (سيستوفيه حديثنا في الفصل التاسع). تنبض وتدور النجوم المحتضرة الصغيرة بحجم الأرض، القزمة (dwarfs) البيضاء عالية الكثافة، في فترات تقاس بالدقائق. يعرض بعضها نمطاً ثريّاً لفترات النبض، مما يمكن علماء الفلك من استخراج جميع

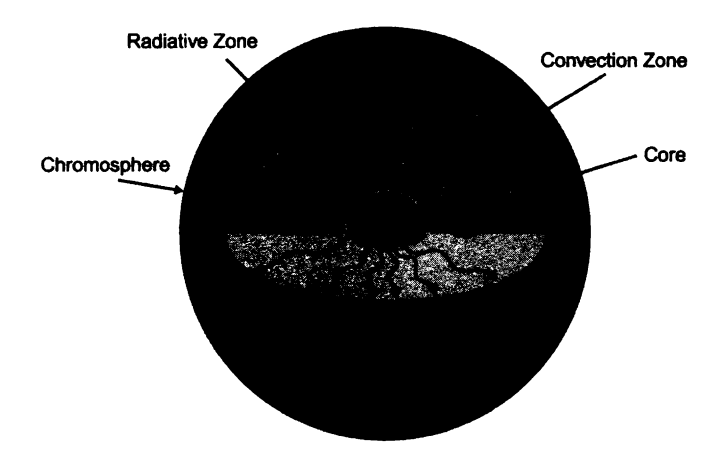
---

(١) يمكننا أن نصف باطن الشمس بقانون الغاز المثالي البسيط (إلى جانب بعض المعادلات الأخرى). تتميز الموجات الانضغاطية (أو الضغط؛ وتسمى أيضاً صيغة ـ P) على سطح الشمس بفترة مهيمنة تقدر بخمس دقائق.

خصائصها البنيوية الهامة[1]

النيوترونات:

توفر النيوترونات - وهي جسيمات محايدة عديمة الكتلة تقريباً بالكاد تتفاعل مع المادة - اختباراً آخر. وفقاً للنماذج الداخلية الشّمسية، يجب أن تنتج بمعدل معين بقلب الشّمس لتفسير الطاقة المنبعثة من سطحها. وبينما لا تفيد الفوتونات الضوئية التي نلاحظ من الشّمس، بشأن درجة حرارة سطحها، تخبرنا النيوترونات، التي يمكننا التقاطها أيضاً من الأرض، شيئاً عن درجة حرارة باطنها، وهكذا فهي تعمل بمثابة ترمومتر طويل المدى. تكشف النيوترونات الشّمسية أيضاً شيئاً ما حول طبيعة الكون، لكننا سننصرف عن هذه المناقشة إلى وقت لاحق.



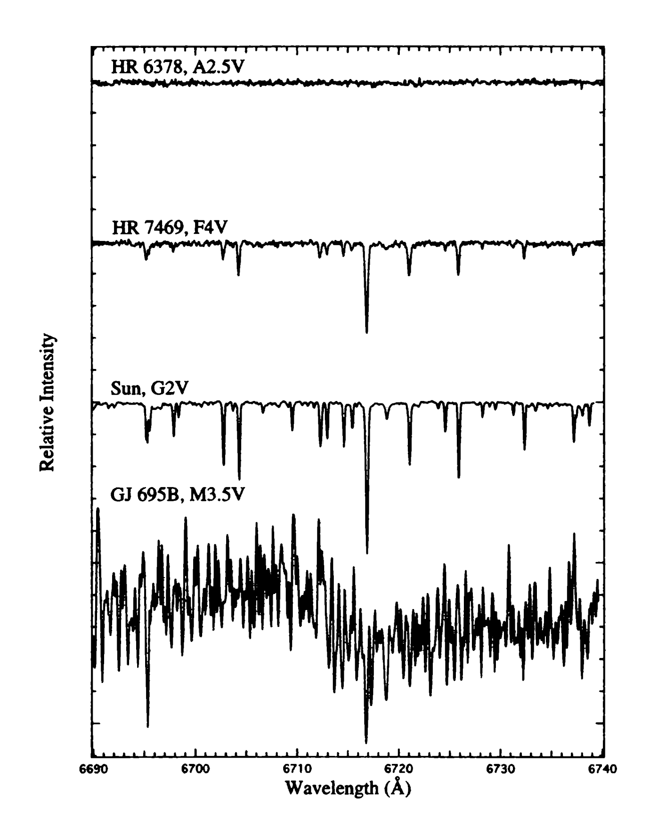
● **الشكل ٧,٢: مقطع عرضي لنجم شبيه بالشّمس. على مستوى معظم حجمه، تشق الطاقة المتولدة في الباطن، بانصهار الهيدروجين، طريقها إلى السطح بواسطة النقل الإشعاعي. تتولد النيوترونات في النواة. ينقل النجم الطاقة إلى الخارج بنسبة ٢٠ في المئة من شعاعه (نصف قطره)، عن طريق الحمل الحراري.**

---

(١) لاستخلاص أقصى قدر من المعلومات المفيدة من نجم قزم أبيض نابض، ينبغي على علماء الفلك أن يقوموا بملاحظته بشكل مستمر لعدة أيام. وهذا ممكن عندما يتم تصويب التلسكوبات المنتشرة في جميع أنحاء العالم على نفس النجم لعدة أيام متتالية. وممكن أيضاً من القطب الجنوبي خلال فصل الشتاء، لكن ظروف المراقبة ليست ملائمة جدّاً. هناك مجموعة أبحاث مقرها في أميس، أيوا، تسمى بـ(Whole Earth Telescope (WET الذي ينسق عمليات رصد القزمة البيضاء النابضة من جميع أنحاء العالم.

أطياف النجم:

يزخر طيف النجم بجميع أنواع المعلومات عن هذه الأمور؛ كدرجة حرارته السطحية وجاذبيته، وحقله المغناطيسي، والعناصر والنظائر التي تكونه. كما ذكرنا في الفصل الأول، فالطيف البصري لنجم شبيه بالشّمس عبارة عن اتصال انسيابي تقطعه آلاف من خطوط الامتصاص الحادة وهي مقاطع جزئية من الطيف حيث تنبعث كمية قليلة من الضوء. ينتج نوعان من المادة خطوط الامتصاص: الذرات المحايدة والذرات المتأينة، والجزيئات البسيطة على مستوى الكروموسفير (الطبقة الرقيقة الملونة من الغلاف الجوي الشّمسي والمرئية خلال الكسوف الشّمسي الكلي). ينتج الاتصال في الغالب من الغاز الساخن المتواجد في الفوتوسفير التحتي الكثيف. ينتج خط الامتصاص عندما يتمّ امتصاص الفوتونات من طرف الإلكترونات في مستوى خاص للطاقة في ذرات عنصر معين. وتتعلق قوته بعدد ذرات العنصر في الغاز (أي: «وفرته») ودرجة حرارة سطح النجم. بعبارة أخرى، كلما كانت ذرات عنصر والموجودة في الغلاف الجوي لنجم كثيرة، كلما ازدادت قتامة خط امتصاص في الطيف. لا ترجع الجودة العالية للبيانات التي يستمدها الفلكيون من الطيف الشّمسي فقط إلى غزارة الفوتونات المتاحة لأدواتهم؛ إذ يتبين أن طيف الشّمس هو الأمثل تقريباً من حيث أنه يسمح لهم باستخراج معلوماته. ونجاحهم يعتمد على مدى دقة قياسهم لخطوط الامتصاص الفردية. وهذا، بدوره، يتطلب على الأقل أن تكون بعض «النوافذ» الصغيرة من الاتصال الطيفي موجودة بين «غابة» خطوط الامتصاص. (انظر: الشكل ٧,٣). تغير الأطياف النّجمية مظهرها بشكل كبير من النمط الطيفي O إلى النمط M. تتوفر النجوم الأكثر حرارة على خطوط امتصاص أوسع وأقل؛ وبالكاد تتسم باتصال محدد، ولكن قلة الخطوط تحد من جودة التحليل. تصبح خطوط الامتصاص أكثر قوة وعدداً في أطياف النجوم الباردة بشكل جزئي لأن الخطوط الجزيئية تبدأ بالهيمنة.



● **الشكل ٧,٣:** مقارنة أطياف عالية الدقة لأربعة نجوم (قزمة) قريبة من النسق الأساسي (Main Sequence). توافق الشريحة ذات ٥٠ انجستروم حوالي اثنان في المئة من النطاق الطيفي الموضح في اللوحة ١٤. توافق الانخفاضات في خطوط الشدة مع خطوط الامتصاص (فتظهر كخطوط داكنة في اللوحة ١٤). تتوفر النجوم الساخنة مثل HR 6378 على خطوط امتصاص أقل بكثير من النجوم الباردة كالشّمس. لكن الخطوط الجزيئية القوية في النجوم الباردة جدّاً تطغى على معظم السمات الطيفية الأخرى وتبطل الاتصال الانسيابي الظاهر في النجوم الساخنة. طيف الشّمس «أداة ذهبية» تعرض خصائص كل من النجوم الساخنة والباردة، وتسمح للفلكيين باستخراج المزيد من المعلومات من الشّمس أكثر من نوع آخر.

تنتج الجزيئات في الأغلفة الجوية النّجمية أطيافاً غنية بخطوط الامتصاص[١] ومع ذلك فهي تهيمن على أطياف النجوم الأقل برودة من

(١) ويرجع ذلك إلى تنوع التحولات الإشعاعية التي يمكن للإلكترونات أن تشارك فيها (ذرية، تذبذبية، ودورانية). تسمح الذرات الإضافية الموجودة في جزيء بالمزيد من درجات الحركة مقارنة بذرة معزولة. تستطيع ذرة الهيدروجين مثلاً، أن تدور أو تتذبذب. والتغييرات في حالة الذبذبة أو الدوران مُكمّمة. وهكذا؛ فالإلكترونات حول الجزيئات تتفاعل بشكل تفاضلي مع الفوتونات ذات أطوال موجية =

الشّمس، حتى أنها تغمر الخطوط الذرية الكامنة وتعيق الاتصال.

وبعبارة أخرى، فالمعلومات الإضافية التي توفرها خطوط امتصاص لجزيئة معينة يقصر عن تعويض ثراء المعلومات التي تخفيها[1] ومع أنه بإمكاننا استخراج معلومات مركبة من طيف نجم بارد، فهي تظل أدنى من تلك المحصل عليها من النجوم الشبيهة بالشّمس، والتي تعد الأداة الذهبية للقياس في هذا الصدد. بخلاف معلومات النجوم الساخنة، يحتوي الطيف الضوئي للشمس على ما يكفي من الخطوط الجزيئية بالنسبة لعلماء الفلك لاستخلاص البيانات المفيدة (كنسب النظائر) دون أن تهيمن على الطيف. هذا يجعل من طيف الشّمس توفيقاً مثاليّاً تقريباً بين كثافة خطوط الامتصاص وسلامة الاتصال. ومع المعلومات المكملة المستمدة من النيازك، تقدم لنا المعلومات المستخرجة من الطيف الشّمسي صورة كاملة عن تكوّن السحابة المسؤولة عن نشوء النّظام الشّمسي[2]

تعمل أيضاً خطوط الامتصاص الحادة والعديدة في طيف النجم كـ«معايير للسرعة»[3] من خلال رصد تحولات دوبلر في الأطوال الموجية للآلاف من

= محددة. تتوفر حالات الدوران على أصغر الدرجات الطاقية، وبالتالي فإن خطوط الطيفية الدورانية متقاربة فيما بينها في الطيف.

(١) السبب الأساسي لذلك هو أن أحد أنواع الجزيئات، مثل أكسيد التيتانيوم، ينتج عشرات الآلاف من خطوط الامتصاص التي تزيد عن بضع مئات الأنغسترومات. لذلك، وبما أن عدداً قليلاً فقط من خطوط أكسيد التيتانيوم ينبغي أن تقاس لتحديد مجموع وفرات التيتانيوم والأكسجين، وكل خطوط أكسيد التيتانيوم الأخرى زائدة عن اللُّزوم ولا تساهم إلا من خلال حجب خطوط أخرى من أنواع الأخرى.

(٢) تعطينا النيازك وفرة نظائر معظم العناصر، لكنها لا تقدم لنا وفرات موثوقة للعناصر المتطايرة. في حين يعطينا الطيف الشمسي وفرات ذرية موثوقة لمعظم العناصر بما في ذلك المواد المتطايرة، وعدداً قليلاً نسبيّاً من وفرات النظائر.

(٣) حتى لو كان نجم معين بعيد جدّاً للكشف عن حركته المماسة بالنسبة للنجوم الأخرى، ما زال بإمكاننا أن نقيس سرعته الشعاعية ـ حركته على طول مجال رؤيتنا. كل ما هو مطلوب لتحديد سرعة النجم الشعاعية هو قياس التحول في الأطوال الموجية لطيفه بالنسبة لخطوط الانبعاث المنتجة في أنبوب مليء بالغاز المتوهج على سطح الأرض. ويتم قياس التغير في الطيف بشكل موثوقي إذا كان يحتوي على خصائص حادة، مثل خطوط الامتصاص. تترجم تحولات الطول الموجي إلى سرعات شعاعية بواسطة تطبيق معادلة دوبلر.

خطوط الامتصاص في طيف النجم، يمكن لعلم الفلك أن يلتقط تغيرات دقيقة في سرعة النجم تحاذياً مع خط بصره[1] كلنا سمعنا تحول دوبلر للموجات الصوتية من صفارات الأنذار، أو صفارة من قطار مار. تنخفض حدة الصوت كلما اتجهت نحو المراقب[2] يمكن لآخر التطورات في قياسات دوبلر لضوء النجوم أن تكشف عن حركات سائبة صغيرة بقدر متر إلى مترين في الثانية ـ وتيرة مشي نموذجية! وهي تعمل بشكل أفضل بالنسبة للنجوم الباردة على الأقل كالشّمس؛ تميل خطوط الامتصاص في أطياف النجوم الساخنة إلى كونها متناثرة وواسعة جدّاً. وبهذه الطّريقة، فإن علماء الفلك بصدد اكتشاف العديد من الكواكب العملاقة التي تدور حول نجوم أخرى.

نقط في الفضاء:

إذا كانت فائدة النجوم في العلم قد انتهت هنا، فإن هذا سيكون بالفعل أمراً مثيراً للإعجاب. لكن النجوم لا تخبرنا فقط عن نفسها؛ بل هي أيضاً مسابير مفيدة على نحو خاص للكون الواسع. وهذا لأن أحجامها أصغر في القيمة الأسية (لرقم ما، هو عدد مضاعفات الـ١٠ الموجودة بالرقم). من المسافات الفاصلة بينها. مثل الثقوب الصغيرة في بطانية خلفية ذات شعر أسود كثيف. فعلى سبيل المثال، تقدر المسافة إلى أقرب نجم بحوالي مائة مليون مرة (أو ثمانية قيم أسية) قطر الشّمس. فكان هذا مفيداً بشكل خاص لبحارة القرون الماضية وعلماء الفلك اليوم الذين يستخدمون النجوم كنقط مرجعية.

يمكن لعلماء الفلك قياس مواقعهم بدقة فقط لأن ضوء النجوم يتركز

(١) في الواقع، يخبرنا أيضاً رصد تحولات دوبلر النجمية بسرعة الأرض المدارية حول الشمس. مثل التزيّحات النجمية وانحراف ضوء النجوم، تعتبر تحولات دوبلر النجمية دليلاً رصديّاً لنموذج مركزية الشمس للنظام الشمسي.

(٢) وقد أذهلت إمكانية تحديد الحركة الشعاعية للنجم انطلاقاً من الأطياف هوغنز أيضاً: «إن تأسيس هذه الطريقة الجديدة في البحث التي تتجاوز أكثر الأحلام خيالاً لوقت سابق، مكّن عالم الفلك من القياس المباشر لحركات الأجرام السماوية غير الظاهرة في مجال الرؤية بوحدات أرضية».
Danielson, *The Book of the Cosmos*, 325.

بشكل ضيق جدّاً. حتى اليوم، يظهر تلسكوب هابل للفضاء عالي الدقة في موضع قريب من مدار الأرض، تقريباً كل النجوم كنقط ضوئية معلقة. لننظر في السّديم البينجمي (interstellar nebula) لتوضيح الفرق. يتوزع السّديم على نطاق واسع من الفضاء، وهو عادة ما يكون منفصلاً عن سديم آخر بمسافة أكبر ببضع قيم أسية من حجمه. ترتبط الذرات في السّديم بشكل ضعيف نسبيّاً بفضل جاذبيتها الذاتية، فلا يستلزم تشويهها شيئاً كثيراً، فالمواجهات القريبة بين الغيوم، والممرات القريبة من النجوم أو السّحب غير متمّاثل في حقل جاذبية واسع النطاق من مجرة درب التبانة كافية للقيام بالخدعة/بالعمل. يوزع هذا، الضوء بشكل غير متماثل، مما يجعل تحديد مركز السّديم أمراً صعباً. يمتلك السّديم سطحاً قليل السّطوع وأشكالاً غير منتظمة، مما يجعلها نقطاً مرجعية ضعيفة مقارنة بالنجوم. تحتاج القياسات الفلكية الحديثة للوصول إلى دقة قياس محدودة بأحجام الأقطار الزاوية للنجوم.

بالطبع، هناك عيب رئيسي واحد في رؤيتنا للنجم كنقطة: وهو أننا لا نستطيع أن ندرس التفاصيل على سطحه. لكن هناك العديد من التعويضات الموفقة؛ **أولاً**: يمكننا دراسة سطح الشّمس كنجم ممثل متوسط المدى (عند نقطة الوسط للمجال). **ثانياً**: تتوفر معظم النجوم على أسطح موحدة بخصائص موحدة. إذن فمعرفة تفاصيل سطحها لا تضيف الكثير من المعلومات الهامة. **ثالثاً**: لسنا بحاجة لأن نحلل النجوم لتحديد خصائصها الأساسية؛ لأنها متماثلة كرويّاً وبسيطة، وذلك بفضل أطيافها النّجمية، فهي تستطيع أن تبقي بعض الأسرار لنفسها.

اليوم، يستخدم علماء الفلك الحواسيب السريعة لمحاكاة تفاعلات الجاذبية بين آلاف النجوم لتمثيلها وفق ترميز حاسوبي كنقاط رياضية مثالية. ونظراً للمسافات الكبيرة بين النجوم والمتعلقة بأحجامها، يتبين أنها قريبة جدّاً من هذه النقط المثالية، وهي حقيقة تسهل عمليات المحاكاة. يمكن للحسابات أن تكون مستعصية لو كانت النجوم أكبر بكثير؛ لأنها ستتشوه بعضها بعضاً في كل مواجهة قريبة، مما يجعل الحصول على معرفة مفصلة للبنية الداخلية

للنجوم أمراً ضرورياً[1] ففي الواقع، تشبه النجوم كثيراً تمثيلها على الحاسوب. وكما الوسم الافتراضي الذي يحمله كل نجم افتراضي، يضم وينقل النجم الحقيقي معلومات حول عمره، كتلته، موضعه، وسرعته. وإن شئنا وضع الأمر رأساً على عقب، فإن مجرة درب التبانة تستوعب على نحو غريب جهودنا لقياس الخصائص الجاذبية التي تبدو كأنها محاكاة عملاقة، تنمذج مجال الجاذبية المحلي وتنقل معلومات مشفرة إلينا، نحن محلليها.

اختبار الفيزياء:

تشكل النجوم أيضاً، أسساً مفيدة بشكل ملحوظ في اختبار قوانين الفيزياء. في الفصل الأول، رأينا كيف أن الشّمس ساعدتنا في اختبار بعض حدود الجاذبية الضعيفة للنسبية العامة (عن طريق انحناء ضوء النجوم). يستخدم علماء الفلك أيضاً، نوعاً غريباً من النجوم، تدعى بالنجوم النابضة. يتوفر النجم النابض على كتلة مشابهة لكتلة الشّمس مضغوطةً إلى كرة يقدر قطرها بحوالي عشرة كيلومترات. وهو ينتج عن انفجار نجم ضخم، فتُنْسَف طبقاته الخارجية إلى أشلاء، تاركاً خلفه نواة نيوترونية كثيفة جدّاً ودوارة على نحو ثائر. ونحن نعلم بشأن النجوم النابضة لأنها تصدر إشعاعات اتجاهية عالية.

تصدر الجسيمات المشحونة التي تدور حول الحقول المغناطيسية القوية للنجم النابض فوتونات على طول المخاريط الضيقة، وهذا اللمعان القوي يتيح لنا قياس مدة دوران النجم النابض بدقة، وذلك باستخدام التلسكوبات اللاسلكية. في الواقع، قد تكون بعض النجوم النابضة خاصة تلك الموجودة في الأنظمة الثنائية، الساعات الأكثر دقة في الكون ـ حتى أنها ربما أكثر دقة من الساعات الذرية. تتيح هذه النبضات المستقرة لعلم الفلك الراديوي دراسة

---

(١) فعلى سبيل المثال، يؤثر الرفع المدي على الأرض من طرف القمر على الديناميات المدارية لهذين الجسمين. يتطلب استقراء انحسار القمر في الماضي البعيد أو المستقبل شيئاً من العلم بالبنية الداخلية للأرض وكيفية استجابتها للتأثيرات المدية. وسيكون نوع هذا العلم مطلوباً كذلك فيما يخص النجوم إذا كانت كبيرة جدّاً أو قريبة جدّاً من بعضها.

أنواع عديدة من الظواهر التي تؤثر في وقت وصولها من نجم نابض معين(١) فبإمكانها أن تحدد بدقة الخصائص المدارية للأجسام المتواجدة في مدار حول نجم نابض(٢)، وأن تختبر مختلف نواحي النسبية العامة في حدود الجاذبية الضعيفة والقوية(٣)، والتعرف على مميزات المادة في الكثافات النووية. حتى أن طريقة تفاعل موجات الراديو من النجم النابض مع الذرات الحرة العائمة الواقعة على خط البصر، تكشف لنا الكثير عن المادة البينجمية المتدخلة.

لو كانت قوانين الفيزياء مهيئة بحيث تكون النجوم أكبر بكثير أو أنها لا تنتج الكثير من خطوط الامتصاص الحادة في أطيافها، أو أن النجوم النابضة والنجوم القزمة البيضاء كانت مستحيلة، لكان الكون مكاناً أقل قابلية بكثير للقياس. (سنتحدث في الفصل العاشر، عن كيف تتغير خصائص الكون عندما تضطرب قوانين أو ثوابت الفيزياء؛ حيث سنناقش الضبط الدقيق للكون fine-tuning)؛ إذ يتبين أن خصائص النجوم متوازنة بدقة لصالح الحياة. وكما نأمل أن نوضح، فالنجوم مفاتيح أساسية للمناطق القابلة للسكن في الكون.

الدوائر الصغيرة المريحة:

في أواخر الخمسينات، قدَّم علماء الفلك مفهوم «النطاق حول النجمي

---

(١) هذه مناقشة تقنية في التطبيق الفيزيائي الفلكي لاستقرار النجوم النابضة:
S. M. Kopeikin, "Millisecond and Binary Pulsars as Nature's Frequency Standards-II. The Effects of Low-Frequency Timing Noise on Residuals and Measured Parameters," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 305 (1999): 563-590.

وقد تم تقديم مراجعة أقل تقنية لملاحظات النجوم النابضة من قبل:
D. R. Lorimer, "Binary and Millisecond Pulsars at the New Millennium," *Living Reviews in Relativity* 4 (2001): http://www.livingreviews.org/Articles/Volume4/2001-5lorimer.

(٢) تم العثور على أجسام تدور حول نابض واحد وتشكل كتلها نسبة صغيرة من كتلة الأرض. انظر:
V. Wolszczan, "Confirmation of Earth-Mass Planets Orbiting the Millisecond Pulsar PSR B1257 1 12," *Science* 264 (1994) 538-542.

(٣) J. H. Taylor and J. M. Weisberg, "Further Experimental Tests of Relativistic Gravity Using the Binary Pulsar PSR 1913 1 16," *Astrophysical Journal* 345 (1989): 434-450.
يمكن اختبار حدود الجاذبية القوية في أي مكان يكون فيه مجال الجاذبية قوياً جداً، مثل سطح نجم النيوترون.

الصالح للحياة»[1] (the Circumstellar Habitable Zone-CHZ). ومع أن تعريفه اختلف نوعاً ما منذ ذلك الحين، فقد حدُّدوه بشكل عام أنه تلك المنطقة حول النجم؛ حيث يمكن للماء السائل أن يوجد باستمرار على سطح كوكب صخري على مدى ما لا يقل عن بضعة مليارات من السنين. يستند هذا التعريف على افتراض أن الحياة سوف تزدهر إذا تحقق هذا الشرط الأدنى. مال أصحاب هذا النموذج إلى التركيز بشكل ضيق، على اعتبار المسافة بين كوكب ونجمه المضيف، وتركيب غلافه الجوي فقط، وعلاقتهما بتسخين سطحه، وهم عادة يجعلون الحدود الداخلية للنطاق حول النجمي الصالح للحياة النقطة التي يفقد الكوكب محيطاته عندها نحو الفضاء بفعل ظاهرة الاحتباس الحراري[2]، وتعيين الحدود الخارجية الصالح للحياة بالنقطة التي تتجمد المحيطات أو تتشكل سحب ثاني أكسيد الكربون عندها، وكلاهما يزيد من ألبيدو الكوكب ويؤدي إلى حلقة مفرغة من البرودة المتفاقمة إلى أن تتجمد المحيطات بالكامل. (وتحديد موقع الحدود الخارجية أكثر صعوبة؛ لأنه يصعب نمذجة آثار سحب ثاني أكسيد الكربون).

لفهم النطاق حول النجمي الصالح للحياة، يجب علينا أن نعرف جميع العمليات التي تساعد على الحفاظ على الماء السائل على سطح الكوكب. وتشمل هذه، ظاهرة الاحتباس الحراري، ودورة تجوية كربونات السيليكات، والعمليات البيولوجية التي لا تعد، ودوران المحيطات والغيوم والثلج، وتكتونية الصفائح والظواهر المرتبطة بها[3] ولجعل المشكلة قابلة للحل،

---

(١) S. - S. Huang, "Occurrence of Life in the Universe," *American Scientist* 47 (1959): 397-402; J. S. Shklovsky and C. Sagan, *Intelligent Life in the Universe* (Holden-Day: San Francisco, 1966); M. H. Hart, "Habitable Zones About Main Sequence Stars," *Icarus* 37 (1979): 351-357; J. Kasting, D. P. Whitmire, and R. T. Reynolds, "Habitable Zones Around Main Sequence Stars," *Icarus* 128 (1993): 101-108; S. Franck et al., "Habitable Zone for Earthlike Planets in the Solar System," *Planetary and Space Science* 48 (2000): 1099-1105.

(٢) المحيطات لا تتبخر حرفياً. بدلاً من ذلك، يدخل الماء طبقة الستراتوسفير، حيث يتم فصله بفعل ضوء الأشعة فوق البنفسجية الشمسي ويُفقد الهيدروجين في الفضاء.

(٣) من المنطقي أن ندرج «العمليات البيولوجية» في هذه القائمة بالنسبة للأرض، لكن إذا كنا مهتمين بحساب حجم الـCHZ لكوكب بدون حياة، فعلينا استبعادها، ونظراً للدور الهام الذي تلعبه في التجوية الكيميائية، النباتات العليا تساعد على الحفاظ على درجات حرارة أكثر استقراراً على السطح؛ وهذا بدوره، يفيد أشكال الحياة المعقدة الأخرى. ومع ذلك، فإن معظم منمذجي الـCHZ يدرجون بشكل =

يؤسس الباحثون نماذجهم على نسخ مضطربة قليلاً لكوكب الأرض الحالي. وبعبارة أخرى، فهم يفترضون كوكباً بحجم الأرض (أو شبيهاً بها) في مدار دائري ضمن بيئة كوكبية مشابهة لبيئتنا. فطوّر علماء الفلك نماذجهم عبر الزمن بإضافة العوامل. على سبيل المثال، في السبعينات، أدرك الفلكيون أن سطوع الشّمس المرتفع بشكل تدريجي يمكن أن يسبب انتقال المنطقة الصالحة للحياة إلى الخارج. وابتداء من أواخر التسعينات، بدأ المنمذجون بمعالجة تكتونية الصفائح باعتبارها متغيراً بدلاً من كونها عملية مطردة متوازنة[١] وفي حين أن هذه التغييرات جعلت النماذج أكثر واقعية، فإن عوامل أخرى مهمة، والمتعلقة بمسافة النجم المضيف، لا تزال مفقودة.

الشيطان يكمن في التفاصيل:

لنفترض وجود حزام كويكبات. ربما تعتقد أنه كلما كنا بعيدين عن حزام الكويكبات هذا كلما كان ذلك أفضل، باعتبار أن تبقى ضمن CHZ. ولكن خطر الاصطدامات بالنسبة لكوكب يتغير بحسب مسافته من نجمه المضيف بطرق شتى[٢] وستعاني الكواكب القريبة إلى حزام الكويكبات الرئيسي من تصادم الكويكبات بشكل أكثر تواتراً، (تبلغ ذروة توزيع الكويكبات في نظامنا الشّمسي وحدتين فلكيتين، ومن الشّمس، حوالي ثلاثة وحدات فلكية إلى داخل مدار كوكب المشتري)[٣] كما يساعد إذا كان مدار الكوكب دائريّاً تقريباً خشية أن يتجول قريباً جدّاً من حزام الكويكبات الرئيسي في أبعد نقطة له من

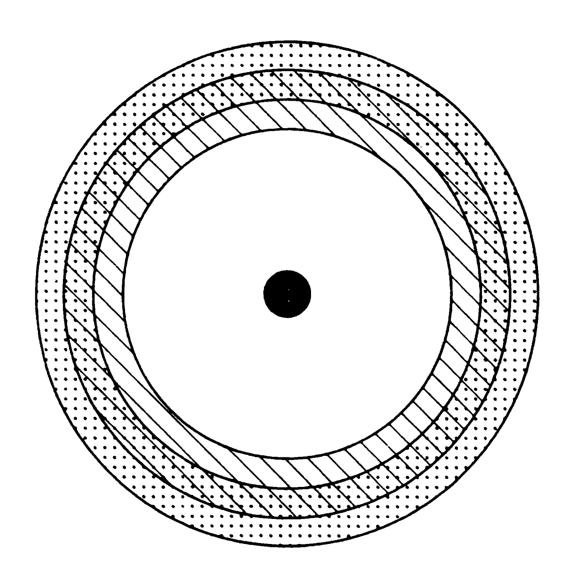
= ضمني الحياة على كواكبهم الافتراضية من خلال معايرة معادلاتهم مع الأرض الحالية.

(١) S. A. Franck et al., "Reduction of Biosphere Life Span as a Consequence of Geodynamics," *Tellus* 52 B (2000): 94-107.

(٢) ونقتصر في حديثنا هنا وفي الفقرات التالية على النظام الشمسي، لكن يبدو من المحتمل أن هناك تبايناً كبيراً في خصائص أحزمة الكويكبات حول النجوم الأخرى. وهذه إحدى المجالات التي نحث فيها على المزيد من البحث.

(٣) إن كثيراً مما نقوله بخصوص الكويكبات في هذا الباب ينطبق أيضاً على المذنبات، لكن توزيعها يرتفع بالقرب من ١,٨ وحدة فلكية. لذلك فالمريخ هو الذي يتجول داخل المنطقة الأكثر خطورة في النظام الشمسي بحسب وجود المذنبات.

الشّمس. يعرف المرّيخ، بمعنى ما، الحافة الداخلية لحزام الكويكبات الرئيسي، ويكتسح الكثير من الكويكبات، مما يجعل الحافة الداخلية أكثر حدة مما كان يمكن أن يكون عليه(١)



● الشكل ٧,٤: النطاق حول النجمي الصالح للحياة (CHZ) هي تلك المنطقة المعتدلة حول النجم؛ حيث يمكن للماء السائل أن يوجد على سطح كوكب أرضي لفترات طويلة. وبما أن سطوع نجم مستقر كالشّمس يتغير على مدى مليارات السنين، ومع ذلك، سيتحرك (CHZ) النجم نحو الخارج مع مرور الوقت. يتشكل النطاق حول النجمي الصالح للحياة بشكل مستمر (The Circumstellar Continuously Habitable Zone-CCHZ) من تداخل النطاقين CHZs اللحظيين.

بدون المريخ ستكون الأرض أقرب كوكب إلى حزام الكويكبات

(١) يثير المريخ أيضاً بعض الكويكبات فيدفعها باتجاه الكواكب الداخلية. يعتمد التأثير المهيمن غالباً على كتلة المريخ، لكن هناك حاجة إلى بحث إضافي لتحديده كميّاً. ونحن نظن أن المريخ يساعدنا أكثر من كونه يضر بنا.

الرئيسي، ليتحمل وطأة الاصطدامات. كما أظهر لنا **كبلر** أولاً، تدور الكواكب الداخلية حول الشّمس بسرعة أكبر من الكواكب الخارجية. لكن وبما أن قانونه ينطبق على جميع الأجسام لا الكواكب فقط، فهذا يعني أن الكويكبات والمذنبات تدور أيضاً حول الشّمس بسرعة أكبر عندما تكون على مقربة منها. يمكنك أن تفترض أن عطارد والزّهرة أكثر أماناً من صدمات الكويكبات الكارثية، بما أنها أبعد من حزام الكويكبات الرئيسي. وبما أن الكويكبات والمذنبات أقرب إلى الشّمس، فهي تتحرك بسرعة أكبر في المناطق المجاورة لها، لذلك، حينما يضرب أحدها، فمن المحتمل أنه سيكون حدثاً ضخماً وهائلاً[1] فمن بين الكواكب الصخرية، إذن، هناك نطاق أمثل للمسافات، يقلل من تهديد الاصطدامات ومن المرجح أنه ليس بعيداً عن موقع الأرض[2]

والأمر التالي هو تكوين الغلاف الجوي للكوكب. لكي يحافظ الكوكب على الماء السائل على سطحه مع حرارة إضافية يوفرها تأثير قوي للاحتباس الحراري. يحتاج الكوكب القريب من الحدود الخارجية للنطاق الصالح للحياة، المزيد من ثاني أكسيد الكربون في غلافه الجوي. وهكذا، كل شيء

---

(١) وهو كذلك بوجه خاص؛ لأن الطاقة التي يحدثها جسم صغير يصطدم بكوكب تزيد بمربع سرعة اصطدامه.

(٢) تتعلق المزيد من العوامل الممكنة والمرتبطة بالاصطدام «أحداث إعادة تخصيب الحياة». تعتمد نسبة القذائف التي تفر من كوكب معين بعد اصطدام كبير على سرعة الجسم الصادم. إذا كانت سرعته صغيرة كفاية فمن الممكن أنه لن يتم فقدان أي قذيفة من الكوكب. لذلك فإن نسبة الاصطدامات التي لا تنتج القذائف تزداد بزيادة المسافة من الشمس (نظراً لسرعات التلاقي الصغيرة). لا يزال بإمكان الاصطدامات المعقمة أن تحدث للأجسام الكبيرة حتى وإن كانت تتحرك ببطء. بدون ركوب الحياة الميكروبية على القذائف الناتجة عن الاصطدامات المعقمة، لا توجد إمكانية لإعادة زرع الكوكب (انظر:

L. Wells, J. Armstrong, and G. Gonzalez, "Impact Reseeding During the Late Heavy Bombardment," *Icarus* 162 (2003): 38-46).

فإدراج تعقيم الاصطدامات وإعادة الزرع في المجموع من شأنه أن يضع قيوداً إضافية على الـ CHZ، ومع ذلك، هناك حاجة إلى دراسة عن كثب لمجاورينا الأقربين قبل أن نتمكن من تكوين تخمين علمي لأهمية هذه العمليات.

آخر يجري على قدم المساواة، وكلما كان الكوكب الأرضي أبعد من نجمه المضيف، كلما احتاج غلافه الجوي المزيد من ثاني أكسيد الكربون لإبقائه دافئاً. نحن نريد أن يتواجد الماء السائل على السطح بطبيعة الحال؛ لأن هذا هو المكان الذي تحصل فيه الحياة بشكل أكبر على أشعة الشّمس الغنية بالطاقة.

ومع ذلك فإن ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى مشاكل أخرى. فإذا كان الغلاف الجوي الكثيف المحتوي على ثاني أكسيد الكربون لا يشكل مشكلة بالنسبة لبعض أشكال الحياة، فالكائنات الكبيرة المتنقلة تتطلب غلافاً جويّاً غنياً بالأوكسجين مع تركيز منخفض نسبيّاً من غاز ثاني أكسيد الكربون[1] بالإضافة إلى ذلك، سيكون الكوكب المتواجد بالقرب من الحافة الداخلية للنطاق الصالح للسكن؛ كالأرض[2]، أكثر إنتاجاً من الناحية البيولوجية، وأكثر تنوعاً من كوكب بعيد[3] تحافظ طاقة الأشعة الشّمسية على عدد كبير من كائنات البناء الضوئي التي تدعم بدورها، المحيط الحيوي الخصب والمتنوع. وفي حين تنتج بعض ذاتيات التغذية الطاقة بمعزل عن ضوء الشّمس، فإن مساهماتها ثانوية في أجزاء المحيط الحيوي المتعلق بالحياة

(١) وبالإضافة إلى ذلك، فإن الكتلة الإجمالية للغلاف الجوي لا يجب أن تكون كبيرة جدّاً. وإلا كان ضغط السطح مرتفعاً جدّاً بحيث لا يسمح لكائنات الأرض التي تتنفس الهواء البقاء على قيد الحياة. وستكون كمية الطاقة التي يبددها الحيوان في التنفس. انظر:
Denton, *Nature's Destiny*, 127-128.

(٢) تستقبل الأرض أشعة الشمس لكل وحدة مساحة على سطحها أكثر من كوكب يوجد في موقع متوسط من CHZ ومن جهة أخرى، سيتوفر الكوكب الذي يوجد في المنطقة الخارجية من CHZ على المزيد من ثاني أكسيد الكربون في غلافه الجوي. وإذا كان ثاني أكسيد الكربون الإضافي يعزز الإنتاجية البيولوجية لذاتيات التغذية، فهو يضر الأشكال العليا للحياة. يؤثر حجم الكوكب أيضاً، بالإضافة إلى المسافة التي يبعد بها عن نجمه المضيف، على الإنتاجية البيولوجية الإجمالية. وبينما تحدد المسافة إلى النجم المضيف كثافة طاقة السطح المتاحة للحياة، يحدد حجم الكوكب جزئيّاً الإنتاجية البيولوجية الإجمالية. تتناسب الإنتاجية البيولوجية الإجمالية مع مساحة سطح الكوكب التي تتناسب بدورها مع مربع حجمه. وهكذا، حتى وإن كان المريخ في موقع الأرض وتمكن نوعاً ما من الحفاظ على غلافه الجوي، فإنتاجيته البيولوجية الإجمالية القصوى لن تبلغ سوى ربع إنتاجية الأرض. وهذا أمر مهم؛ لأن قدرة المحيط الحيوي على دعم الكائنات المتنقلة الكبيرة يعتمد على الإنتاجية الإجمالية في المستويات الدنيا من الهرم الغذائي.

(٣) ومع ذلك فارتفاع الإنتاجية البيولوجية مع شدة الضوء ليس كبيراً كما قد يظن المرء؛ لأن الضوء ليس العامل المحدد للمناطق القريبة من خط الاستواء.

المعقّدة. إن الكوكب الذي ينتج الكتلة الحيوية بشكل أبطأ من الأرض قد لا يكون قادراً على إعداد نفسه لحصول الحياة المعقّدة قبل أن يغادر نجمه المضيف النسق الأساسي. ويمكن أن يكون أيضاً مهدداً بالصدمات الخارجية الفجائية لنظامه البيئي. لذلك قد لا يكون من قبيل الصدفة أن الأرض تقيم بالقرب جدّاً من الحدود الداخلية للنطاق الصالح للحياة الخاص بالشّمس[(١)] من المرجح أن صلاحية الحياة تتغير داخل النطاق بشكل مفاجئ. أو لكي نكون أكثر دقة، قد يكون أضيق بكثير مما هو مفترض حاليّاً.

فضلاً عن ذلك، فمجرد قدرة أحدهم أن يضع توأم الأرض في الموضع المناسب من النموذج، فهذا لا يعني أنه يمكن أن يتشكل هناك أو أنه سيبقى ضمن مدار دائري مستقر. إن كيفية تشكل الكوكب يعتمد على المسافة التي يبعد بها عن نجمه المضيف. وبينما يكون قرص كوكبي سابق موجوداً في المراحل المبكرة من تشكل النّظام الكوكبي. يتمّ تسخين الغاز والغبار القريبين من النجم أكثر من المواد الأبعد في القرص. تبقى العناصر الأكثر تطايراً في المرحلة الغازية في المناطق الحارة، بينما يمكن للعناصر «الحرارية» (refractory) التي تميل إلى توفرها على درجات انصهار (melting points) عُلْيَا، أن تتكاثف لتشكل حبيبات صلبة هناك[(٢)] ربما يكون لدينا بعض الكويكبات والمذنبات لنكون ممتنين لها على المركبات الطيارة القليلة، مثل

(١) كما هو محدد في الأدبيات. ومن المثير للاهتمام أن استبدال الماء بالسوائل الوفيرة الأخرى التي تتركب من الجزيئات الخفيفة سيؤدي إلى أن توجد المناطق الصالحة للحياة بعيداً عن النجوم المضيفة لها. وهذا لأن الماء يتميز بدرجتي حرارة ذوبان وغليان مرتفعتين بشكل غير طبيعي نظراً لوزنه الجزيئي الصغير؛ فالكوكب الذي يحتوي على كميات وافرة من الأمونيا أو الميثان، مثلاً، سيكون بعيداً عن نجمه المضيف لكي يحافظ على السائل في سطحه. لكن هذا يؤدي إلى إتاحة طاقة أقل إشعاعاً للإنتاجية البيولوجية. وهذا شرط مثالي آخر لخاصية الماء من أجل صلاحية الحياة.

(٢) مقارنة بالأرض، توفر النيازك وما يرتبط بها من الكويكبات الأم بعض الأدلة على هذا. على وجه الخصوص، فإن محتوى الكربون والمياه من النيازك الكربونية وكويكباتها الأم أكبر بكثير منهما في الأرض الضخمة (bulk Earth). تحتوي نيازك الكوندريت الكربونية على ما يصل إلى ٢٠ في المئة من الماء و٤ في المئة من الكربون، في حين تحتوي الأرض الضخمة على حوالي ٠,١ في المئة من الماء و٠,٠٥ في المئة من الكربون (Ward and Brownlee, *Rare Earth*, 46).

الماء وثاني أكسيد الكربون، اللذين يوجدان بوفرة في قشرة الأرض والوشاح الخارجي. ولو أن الأرض بالقرب من حزام الكويكبات، لأدى ذلك بالكمية الوافرة من الكربون الأولي والماء يتشكل على الأرجح محيطاً عميقاً، وغلافاً جويّاً غنيّاً بثاني أكسيد الكربون، وعالماً ميتاً[١]

إلى جانب توفر الكمية المناسبة من ثاني أكسيد الكربون في غلافه الجوي، يحتاج الكوكب أيضاً، إلى أن تتوفر نواته على المكونات الكيميائية المناسبة. يمكن لأنواع معينة فقط، من النوى، أن تولد حقلاً مغناطيسيّاً يحافظ على الحياة. إن التركيبة الأساسية لكوكب أرضي تعتمّد ربما على الكيفية التي يتشكل بها[٢] الكواكب الصخرية الداخلية أكثر قابلية لتتوفر نسبيّاً على نوى حديدية (iron-nickel cores) كبيرة وكمية أقل من الكبريت المختلط بداخلها، ذلك أن الكبريت عنصر متطاير. تقلل إضافة الكبريت إلى النواة الحديدية من درجة انصهارها تماماً كما يقلل الملح من درجة تجمد المياه[٣] إن النواة السائلة بالإضافة إلى كمية قليلة من الكبريت لن تتطلب فقط درجة حرارة عالية لإبقاء سيولتها، لكنها ستكون أكثر عرضة للتجمد عند انخفاض درجة الحرارة. ومع ذلك، فإن النواة الحديدية الصلبة الخالصة مع الكثير من الكبريت، قد لا تتشكل على الإطلاق. لكي يتوفر الكوكب على حقل مغناطيسي كوكبي قوي، يجب أن يكون جزء كبير من نواته متنقلاً. يمكن أن تساعد النواة الحديدية الصلبة أيضاً، تماماً كما تقوي النواة الحديدية لملف لولبي الحقل المغناطيسي.

يعتبر البوتاسيوم عنصراً متطايراً رئيسيّاً آخر. فنظيره المشع طويل المدى، البوتاسيوم ٤٠، مصدر مهم للحرارة بالنسبة للأرض ويساعد على إبقاء الحمل

---

(١) المصدر السابق، ٤٧.

(٢) يعتقد أن جزءاً كبيراً من نواة الكوكب الأرضي يتكوّن من المواد التي التحمت مبكراً لتَشكُّله. وفي وقت لاحق من عملية التشكل، تأتي الأشياء التي تساهم في كتلة الكوكب، ربما، من مساحة كبرى في القرص، بسبب الانحرافات المتزايدة لمداراتها.

(٣) انظر:

Lewis, *Worlds Without End*, 57-59.

الحراري بالوشاح وعلى حركة الصفائح التكتونية. وكما لاحظنا في الفصل الثالث، تحافظ الصفائح التكتونية التي تشكل جزءاً أساسيّاً من دورة الكربون، على بقاء القارات فوق الماء. قد يكون هناك أيضاً بعض البوتاسيوم في النواة؛ حيث يمكن أن يساعد الدينامية الجيولوجية. من المرجح أن وفرته في النوى الكوكبية تزداد بازدياد المسافة عن نجمه المضيف. إن كميته في الأرض، وكيف أنه داخل فيها، لا يزال مثيراً للجدل، ولكن كلاهما يتعلق بعدد من العوامل. إن أي كبريت في النواة يزيد بشكل كبير من كمية البوتاسيوم التي يمكن عزلها هناك، كما تفعل درجات الحرارة المرتفعة بوجود الأوكسجين[1]

كل واحد من هذه العوامل يتغير بتغير المسافة عن النجم المضيف بطرق مختلفة. فبعضها يرفع من صلاحية الحياة مع ارتفاع المسافة، بينما يكون للبعض الآخر تأثير عكسي. يجب أن تكون معدلات اصطدامات الكويكبات مضبوطة على مجال ضيق من القيم وتقدم زمني دقيق؛ لأن لها آثاراً إيجابية وسلبية. تعتمد بعض العوامل الأخرى كالوصل الرنيني بين مدار الكوكب ودورانه عن طريق الجزء السائل من نواته. (الذي تناولناه في الفصل الخامس) على المسافة على نحو أكثر تعقيداً. عندما تتعدد هذه العوامل الإضافية فإنها تقلل جدّاً من أفضل التقديرات فيما يتعلق بعرض النطاق حول النجمي الصالح للحياة بالنسبة للحياة المعقّدة وربما أيضاً بالنسبة للحياة البسيطة. باختصار، يعتمد النطاق الحقيقي الصالح للسكن لكوكب ما على ما هو أكثر من مجرد شدة الضوء الساطع من نجمه المضيف.

النجم المضيف:

تلعب النجوم دورين أساسيين في دعم الحياة: كمصادر لمعظم العناصر

(١) للاطلاع على مناقشة حديثة حول مقدار البوتاسيوم الذي يمكن أن يكون في نواة الأرض، انظر:

C. K. Gessmann and B. J. Wood, "Potassium in Earth's Core," *Earth and Planetary Science Letters* 200 (2002): 63-78.

وهما يحدسان على سبيل التقدير أن البوتاسيوم يمكن أن يوفر ٢٠ في المئة على الأكثر من الطاقة اللازمة لتشغيل الطاقة الجيودينامية في النواة.

الكيميائية، وكمورد ثابت للطاقة. تقوم النجوم بإذابة نوى الذرات في باطنها الساخن، تحت ضغط الجاذبية، لبناء العناصر الكيميائية (سوف نعود إلى هذا الموضوع في الفصل التالي). تقضي النجوم معظم حياتها في إذابة نوى ذرات الهيدروجين الوافرة (البروتونات) في مرحلة من مراحل حياة النجم والتي تسمى بالنسق الأساسي. ونظراً لأن الهيدروجين متوفر بكثرة، فإن النسق الأساسي هو أطول مرحلة من حياة النجم. وما دام النجم في هذه المرحلة، فإن سطوعه لا يتغير بشكل كبير. فالشّمس التي لا زالت نجماً ضمن النسق الأساسي لحوالي ٤,٥ مليار سنة، ازدادت سطوعاً بنسبة ٣٠ في المئة تقريباً منذ أن بدأت بإحراق الهيدروجين الخاص بها. وبمجرد أن تغادر النسق الأساسي، خلال حوالي ستة مليارات سنة، ستصبح الشّمس أكثر إشراقاً آلاف المرات في وقت قصير نسبيّاً[١] يعتمد مقدار الوقت الذي يستغرقه النجم في النسق الأساسي، على كتلته. حيث أن النجوم التي يبلغ حجمها ضعف حجم الشّمس تستغرق حوالي بليون سنة فقط، بينما تستغرق التي تبلغ نصف الحجم لـ١٠٠ مليار سنة تقريباً.

تشير السجلات الجيولوجية للأرض أن الماء السائل كان موجوداً في مكان ما على سطحها بشكل مستمر على مدى وقت طويل من تاريخها. هذا يعني: أنه لا بد أن الأرض بقيت داخل النطاق الصالح للحياة حتى مع إشراق الشّمس وانتقال النطاق إلى الخارج. تسمى المنطقة التي تتداخل فيها كل النطاقات اللحظية الصّالحة للحياة خلال فترة طويلة من الزمن بالنطاق CCHZ، وهو نطاق أضيق من نطاق CHZ، وخاصة إذا كان الفاصل الزمني قيد النظر جزءاً كبيراً من عمر النسق الأساسي للنجم المضيف[٢] بالطبع،

---

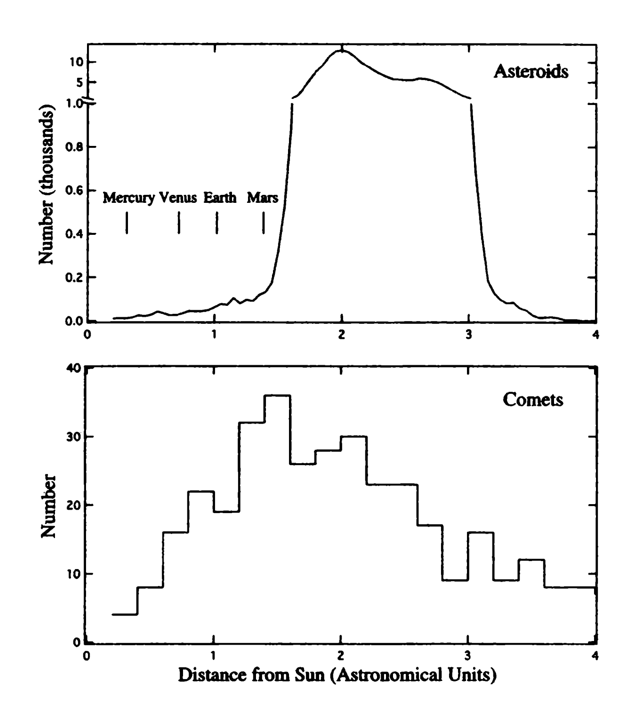
(١) انظر:

K. R. Rybicki, and C. Denis, "On the Final Destiny of Earth and the Solar System," *Icarus* 151 (2001): 130-137.

(٢) يستطيع علماء الفلك اليوم حساب موقع CCHZ لنجم ذي كتلة عشوائية. للاطلاع على أحدث تقديرات CCHZ، انظر:

S. A. Franck et al., "Determination of Habitable Zones in Extrasolar Planetary Systems: Where are Gaia's Sisters?" *Journal of Geophysical Research* 105 (2000): 1651-1658. =

يتغير موضع هذا النطاق من نجم إلى نجم. تتوفر نجوم النسق منخفضة الكتلة باعتبارها أقل إضاءة من الشّمس على نطاقات CCHZ صغيرة وقريبة؛ والعكس صحيح بالنسبة للنجوم الضخمة.



● الشكل ٧,٥: توزيع ظواهر الحضيض (أقرب نقطة يكون فيها الكوكب من الشّمس) لما يقارب ٢٠٠,٠٠٠ كويكب وأربعمائة مذنب. ومسافات الأوج (أبعد نقطة يكون فيها الكوكب من الشّمس) للكواكب الأرضية الأربعة ممثلة أيضاً. (تتوزع) الكويكبات حوالي ٢,٥ مرات أكثر شيوعاً قرب المرّيخ مقارنة مع الأرض. يبلغ توزيع حضيض المذنب ذروته قرب المرّيخ. (تمّ تقسيم المحور العمودي للمخطط الأعلى بغرض الوضوح).

ولكن مجدداً، هناك في هذه اللعبة ما هو أكثر من مجرد الطاقة الضوئية التي يتلقاها الكوكب من نجمه المضيف. يرجح أن النجوم التي تفوق كتلة الشّمس بـ١,٥ مرة ليست بيئات قابلة للحياة المعقّدة؛ لأنها تستغرق نسبيّاً وقتاً قصيراً في النسق الأساسي قبل أن تصبح عملاقاً أحمر، وفي الوقت الذي

= لمراجعة حديثة حول الموضوع انظر:

Franck et al., "Planetary Habitability: Is Earth Commonplace in the Milky Way?" *Naturwissenchaften* 88 (2001): 416-426.

تكون فيه في النسق يتغير سطوعها بشكل سريع نسبياً. ومن شأن هذه التّغيّرات السريعة أن تؤدي في الغالب إلى تغيرات مناخية عنيفة. لكن بسبب الدينامية المدارية المعقّدة، يؤدّي السّطوع النّجمي المتزايد بسرعة إلى تهديد آخر ـ الكويكبات[١] يحمل المشهد حول نجم يقترب من نهاية عمره في النسق الأساسي لحظات تذكارية للمراحل العنيفة المبكرة من تشكل كوكب الأرض. لذلك فإن النجوم الضخمة ستعرض كواكبها للخطر حتى قبل مغادرتها النسق الأساسي.

وفي الطرف الآخر من المقياس، يمكن أن تقدم نجوم النسق الأساسي خفيفة الكتلة (النجوم القزمة من صنف ـ M) بيئات أكثر فقراً. يحدث النجم القزم من صنف ـ M حركات مدية قوية على الكوكب في الـCCHZ الخاص به، وسبب هذا ببساطة قرب الكوكب من نجمه المضيف مما يؤدي إلى كبح دورانه (كقمر الأرض)[٢] لم هذا سيئ بالنسبة للحياة؟ إذا كان الغلاف الجوي للكوكب رقيقاً، فإنه سيتجمد على الجانب المظلم منه؛ تعمل المنطقة الباردة والمظلمة بشكل مستمر كنوع من «الفخاخ الباردة»، كالخفاف الباردة المستخدمة في أنظمة المضخات الفراغية بهدف التقاط جزيئات الماء من الهواء. يمكن أن تحول دون ذلك المستويات العالية من ثاني أكسيد الكربون الجوي ولكن على حساب حياة شبيهة بالحياة الحيوانية، التي تحتاج إلى مستوى عال من الأوكسجين ومستوى منخفض من ثاني أكسيد الكربون[٣] وحتى لو افترضنا

---

(١) وكما أشرنا في الفصل الرابع، تشق الكويكبات طريقها إلى الأرض بواسطة الديناميات المدارية المعقدة التي تنطوي على رنين الكوكب العملاق وتأثير ياركوفسكي. يغير تأثير ياركوفسكي متوسط المسافات التي تبعد بها الكويكبات عن الشمس على مقاييس زمنية قدرها ملايين السنين. ويبدو هذا جليّاً في الكويكبات الصغيرة الأقرب إلى الشمس. تصبح هجرة الكويكبات الناتجة بفعل تأثير ياركوفسكي أكثر أهمية مع استمرار الشمس في السطوع على مدى عدة مليارات من السنوات المقبلة.

(٢) يقدم الكوكب المتزامن دورانيّاً ميزة كبيرة واحدة: تبقي القوى المدية الشديدة على الكوكب (الصادرة) من النجم المضيف ميله مستقرّاً دون الحاجة إلى قمر كبير.

(٣) تتحرى الدراسة التالية صلاحية الحياة على الكواكب التي تدور حول النجوم القزمة -M مع مجموعة من الأغلفة الجوية الممكنة: =

وجود غلاف جوي مشبع بثاني أكسيد الكربون فإن درجات الحرارة ستكون ملائمة للحياة في نطاق ضيق فقط، بجانب خط الغلس للكوكب ـ وهو الخط الفاصل بين الجانب المضيء والجانب المظلم منه. وبما أن شدة ضوء النجوم ضعيف على هذا الخط فإن الإنتاجية البيولوجية الوحيدة الممكنة هي الضعيفة، كما من شأن انخفاض درجة الحرارة أن يبطئ العمليات البيولوجية.

والأسوأ بالنسبة للكوكب القزم من صنف ـ M شدة احتمال أن يتجمد كل الماء على سطحه في نهاية المطاف على الجانب المظلم، تاركاً الجانب المضيء حارّاً وجافّاً[1] ويمكن التخفيف من هذه المشاكل إذا ـ على غرار

= M. J. Heath et al., "Habitability of Planets around Red Dwarf Stars," *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 29 (1999): 405-424.

والنتيجة الأساسية هي أن هناك حاجة إلى مستوى ثاني أكسيد الكربون أكبر بكثير من مستواه في الغلاف الجوي للأرض للحفاظ على درجات حرارة متساوية ولمنع الغلاف الجوي من التجمد. يمكن لمثل هذا الغلاف أن يعيق وجود حياة معقدة تقوم على تنفس الأوكسجين. حتى وإن كان جزء كبير من الغلاف الجوي يتكوّن من الأوكسجين، من ١٠ إلى ٢٠ في المئة مثلاً، فهذا ما يزال لا يسمح الحياة الشبيهة بالحياة الحيوانية. وليس من الواضح أن بإمكان الغلاف الجوي الكوكبي أن يتوفر على مستويات عالية من ثاني أكسيد الكربون والأوكسجين في نفس الآن. وقد تحول الغلاف الجوي للأرض من غلاف يهيمن عليه الميثان وثاني أكسيد الكربون والحياة البسيطة إلى غلاف يهيمن عليه الأوكسجين والنيتروجين والحياة المعقدة. إذا حدث نفس التحول الجوي على كوكب خاص بنجم قزم ـ M فإنه سيبرد بسرعة.

(١) يناقش هيث (Heath) وآخرون في «Habitability of Planets around Red Dwarf Stars» أن الكوكب المتزامن دورانياً والذي يتوفر على دورة محيطات قوية ومرتبطة على نطاقه الكلي بما يكفي، يستطيع أن يبادل حرارة كافية بين الجانب المضيء والجانب المظلم للحفاظ على الماء السائل على جزء كبير من سطحه. ستُظهر تجربة بسيطة أن هذا لا يمنع الماء من التجمد على الجانب المظلم منه. كل ما يتطلبه الأمر، بعض الكتل الأرضية القارية على الجانب المظلم؛ حيث يمكن أن يتشكل جليد الماء ويقاوم الذوبان (مثل كتل الجليد بغرينلاند وجليد القطب الجنوبي على الأرض). فبمجرد أن يبدأ الجليد بالتشكل على اليابسة، سيأخذ منسوب المحيط في الانخفاض في أنحاء الكوكب، لتسهم في انكشاف مزيد من اليابسة والتي تسمح للجليد المستقر في التشكل، ليزيد انخفاض منسوب المياه وهكذا حتى يتجمد الماء بأكمله. وبالإضافة إلى ذلك، فحين ينخفض منسوب المياه، ستصبح المحيطات أقل فعالية في نقل الحرارة بين المناطق الساخنة والباردة، فتزداد سرعة تجمد المياه على الجانب البارد والمظلم. يصبح الكوكب ساخناً وجافّاً على الجانب المضيء وبارداً وجافاً على الجانب المظلم. يمكن أن تبقى بعض المياه السائلة في قاع بعض الأحواض على الجانب المظلم، تدفئها حرارة باطن الكوكب. حتى أن بعض الأراضي المرتفعة بالقرب من الخط الفاصل (مثل السلاسل الجبلية) يمكن أن تؤدي إلى تجمد كوكبي =

عطارد ـ كان مدار الكوكب المتزامن دورانيّاً، انحرافيّاً جدّاً، الذي سيمنع نفس الجانب من أن يواجه دائماً النجم المضيف. بالطبع يؤدي المدار الأهليجي إلى حد كبير، إلى تقلبات كبيرة في درجة الحرارة على الكوكب، بغض النظر عن دورانه. لذلك فإن الكوكب في CCHZ الخاص بالنجم القزم من صنف ـ M سيعاني إما من التوزيع غير المستوي للحرارة أو من تغيرات كبيرة في درجة الحرارة على مدار عامه.

ماذا لو وضعنا قمراً بحجم الكوكب في مدار حول كوكب غازي عملاق، الذي يقع بدوره ضمن CCHZ الخاص بالنجم القزم من صنف ـ M؟ يمكن أن يدفع هذا مشكلة التزامن الدوراني وأن يسمح للقمر بأن يعرض سطحه كاملاً لضوء نجمه المضيف على مدى شهره. ولكن هذا أيضاً لا يوفي بالغرض نظراً للأسباب التي أفردنا في الفصل الخامس. وبشكل خاص، ليس من الواضح أن بإمكان الكوكب الغازي العملاق الاحتفاظ بقمر كبير يهاجر إلى داخل النطاق الصالح للسكن لنجم قزم من صنف ـ M، حيث تجاهد الجاذبية بشدة لحيازة القمر. وحتى لو كان بإمكان القمر أن ينجو، فإن حجم مداره حول كوكبه المضيف العملاق. سيسبب تغيرات كبيرة في درجات الحرارة على سطح القمر.

= طالما أن الجليد يمكن أن يتشكّل على ارتفاع معين. حتى أن البحار الضحلة على الجانب المظلم ستسمح بتراكم الجليد وانخفاض منسوب سطح البحر طالما يمكن للجليد أن يستقر في قاع البحر. وباختصار، فإن تضاريس السطح تميل إلى زعزعة استقرار كوكب متزامن دورانيّاً ويؤدي به إلى التجمد الكامل لمياهه على جانبه المظلم. وكما ناقشنا في موضع آخر؛ فالكوكب الذي يحتوي على الماء والقليل من التضاريس السطحية لا يسمح بوجود محيط بيولوجي متنوع؛ بل قد يكون عقيماً تماماً. ويتم الوصول إلى النقطة الرئيسية الأخرى التي من شأنها أن تزعزع الاستقرار حينما تسمح درجات الحرارة المنخفضة على الجانب المظلم لثاني أكسيد الكربون ببدء التجمد؛ مما يؤدي في النهاية إلى تجميد الغلاف الجوي بأكمله. يحتاج المرء إلى كوكب مصطنع بشكل مشبوه يتوفر على قارات فقط على جانبه المضيء والمحيطات العميقة في الأماكن الأخرى، لمنع تجمد المياه. لكن بمجرد أن تشكل التكتونيات المستمرة والنشاط البركاني اليابسة في الجانب المظلم، فإن الكوكب يصبح في طريقه إلى تجمد مياهه كلها. وحتى مع غلاف جوي كثيف مبدئيّاً من ثاني أكسيد الكربون؛ فإزالة ثاني أكسيد الكربون عن طريق ترسب الكربونات إلى قاع المحيطات تعمل على تبريد الكوكب.

تخلق النجوم القزمة من صنف ـ M مشاكل إضافية للحياة. وكالشّمس، فهي تصدر انفجارات (flares). وبعضها أشد من الانفجارات الشّمسية، وبما أن النجوم القزمة من صنف ـ M ضئيلة جدّاً إضاءتها، فإن شدة الانفجار عظيمة جدّاً مقارنة بالنجم. يستطيع الانفجار القوي لنجم قزم من صنف ـ M أن يزيد من الأشعة السينية النسبية بعامل مئة إلى ألف مقارنة بانفجارات الشّمس؛ وسيكون هذا الارتفاع الناتج في الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الكوكب، أكثر شدة[١] وهذه الانفجارات لن تهدد فقط الحياة السطحية؛ بل ربما تجرد أيضاً الكوكب من غلافه الجوي بسرعة أكبر. يمكن أن تسبب المواضع النّجمية الكبيرة المرتبطة بالانفجارات في تغير سطوع النجم على فترات زمنية أطول (بحوالي عشرة إلى أربعين في المئة)، ليحاكى ذلك تأثير مدار كوكبي غريب. تتضاءل المواضع النّجمية والانفجارات بانتظام مع تقدم عمر النجم. لذلك فإذا كان من الممكن التخفيف من حدة هذه المشاكل بمرور الزمن، سيكون النجم القزم المضيف من صنف ـ M مصدراً أقل ثباتاً للطاقة من نجم كالشّمس[٢]

---

(١) تصدر الانفجارات أيضاً إشعاع الجسيمات. تصل الجسيمات المشحونة المنتجة في النهاية إلى الأرض فتصيب الغلاف الجوي العلوي أحياناً بعد أن تتصاعد على طول خطوط حقلها المغناطيسي. تنتج الانفجارات القوية بروتونات أكثر نشاطاً، تولد عند اصطدامها بالذرات في الغلاف الجوي العلوي جزيئات ثانوية، تشمل الميونات، التي تصل إلى الأرض وتهدد الحياة هناك. والأهم من ذلك، أن الإلكترونات الثانوية المنتجة في الغلاف الجوي عن طريق الإشعاع المؤيِّن عالي الطاقة ستُخفِّض إلى فوتونات الأشعة فوق البنفسجية التي يمكن أن تصل إلى سطح الكوكب.

(٢) وهذا ينطبق على الانفجارات من جميع الطاقات ـ خاصة النادرة منها. وعلى الرغم من أن علماء الفلك كانوا يراقبون الانفجارات الشمسية باستمرار لعدة عقود، إلا أنهم لم يلاحظوا المجال الكامل لشدة الانفجارات. تحدث الانفجارات القوية بدرجة أقل، نحو مرة في القرن، أو مرة في الألفية، وهكذا. إذا شكّلت الانفجارات الشمسية أي درجة من التهديد لحياة الأرض في نصف المليار سنة الماضية أو نحو ذلك، فإن الانفجارات على نجم قزم -M ستشكل في فترة مماثلة تهديداً أكبر للحياة على كوكب يدور حوله. حدث أقوى انفجار تمت مشاهدته على الشمس في ٤ نوفمبر ٢٠٠٣م. وكان أقوى حدث انفجار تم تسجيله في نظامنا الشمسي. ولحسن حظنا، كان معظم الإشعاع بعيداً عن الأرض. وبطبيعة الحال، يمكن أن توجد حياة بسيطة تحت سطح كوكب يدور حول هذا النجم، حيث ستكون تقلبات الحرارة أقل حدة، ولا يشكل إشعاع الانفجارات تهديداً، وحيث يمكن للتدفئة الحرارية الأرضية أن تحافظ على المياه السائلة. لكن هذا لن يكون بيئة ملائمة للحياة المعقدة أو التكنولوجية.

ويمكن لهذه الرشقات النارية أن تدمر كذلك أي طبقة أوزون موجودة على الكوكب؛ لأن النجم القزم من صنف ـ M، في حالته الساكنة، ينتج الأشعة فوق البنفسجية بشكل أقل بالمقارنة مع الأشعة الضوئية التي تنتجها الشّمس. إن التدفق المنتظم للأشعة فوق البنفسجية من الشّمس يحافظ على درع الأوزون في الغلاف الجوي للأرض، الذي يوفر بعض الحماية من الارتفاعات الطفيفة في تدفق الأشعة فوق البنفسجية خارج الأرض. لذلك فالكوكب الذي يدور في النطاق الصالح للسكن لنجم قزم من صنف ـ M سيكون أكثر عرضة للآثار المدمرة للأشعة فوق البنفسجية قصيرة المدى وأحداث الإشعاعات الجسيمية كالانفجارات النّجمية وبجوار السوبرنوفا[1]

تعتبر الأشعة فوق البنفسجية أساسية في أكسدة الغلاف الجوي للكوكب. إن التفكك المطرد للجزيئات الضوئية الغنية بالهيدروجين كغاز الميثان والماء في الغلاف الجوي للأرض بواسطة الأشعة فوق البنفسجية للشمس، والفقدان اللاحق للهيدروجين، هو الذي سمح في النهاية للأوكسجين بأن يصبح كثيفاً جدّاً في الغلاف الجوي. واستغرقت العملية حوالي ملياري سنة على الأرض؛ أي: ما يقارب نصف عمرها الحالي. وإن عملية كهذه كانت ستكون أبطأ لو أن كثافة الأشعة فوق البنفسجية ضعيفة، كما هو الحال بجوار نجم قزم بارد من صنف ـ M. فإذا قال قائل: إن النجوم القزمة من صنف ـ M تدوم لفترة أطول في النسق الأساسي من الشّمس، فإن هذا لا يحسن الاحتمالات بالنسبة للنجوم القزمة من صنف ـ M المتكونة سابقاً، من حيث أن عمر مجرة درب التبانة يقدر بحوالي إثنتي عشرة بليون سنة، وهي نسبة ضئيلة من العمر النظري لنجم قزم من صنف ـ M. تشير الأطياف الحمراء للنجوم القزمة من صنف ـ M إلى أن القليل جدّاً من الضوء الأزرق سيصل إلى سطح الكواكب الدوارة

---

(١) انظر:

J. Scalo, J. C. Wheeler, and P. Williams, "Intermittent Jolts of Galactic UV Radiation: Mutagenetic Effects," in *Frontiers of Life; 12th Rencontres de Blois*, ed. L. M. Celnikier, in press; D. S. Smith, J. Scalo, and J. C. Wheeler, "Importance of Biologically Active Aurora-like Ultraviolet Emission: Stochastic Irradiation of Earth and Mars by Flares and Explosions," *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, in press.

الخاصة بها. ورغم أن عملية التركيب الضوئي لا تتطلب الضوء الأزرق، فإنها تصبح بصفة عامة أقل فعالية دون ضوء كثيف متجه للأزرق بطول ٦,٨٠٠ أنغستروم، لا يزال بإمكان بعض أنواع البكتيريا استخدام الأشعة تحت الحمراء، لكن لا لإنتاج الأوكسجين. وسيكون من الصعب على أي من الكائنات البحرية ضوئية التركيب استخدام الضوء الأحمر كمصدر للطاقة، ذلك أن مياه المحيطات تنقل الضوء الأخضر المزرق بشكل أفضل بكثير من الضوء الأزرق أو الأحمر[(١)]

وبما أن الـCCHZ حول نجم قزم ـ M أقرب من الذي حول الشّمس، فإن أيّاً من الكواكب الأرضية التي تقع بداخله أو بقربه ستدور معاً على الأرجح بشكل أقرب. وهذا يرفع من احتمال أن تشوش الكواكب على مدارات بعضها. فالكواكب الأرضية للنظام الشّمسي متباعدة جدّاً بما يكفي لإبقائها في مدارات مستقرة إلى حد ما على مدى ٤,٥ بليون سنة. في حين تسمح المدارات الصغيرة فقط بأعمار ديناميكية (dynamical lifetimes) قصيرة جدّاً. والساخر أن الأعمار الديناميكية القصيرة للكواكب الأرضية في النطاقات الصّالحة للحياة ينبغي أن توجد حول النجوم الأطول عمراً. لا يمكننا أن نفترض أن يكون لدى كل النجوم كواكب مثل الأرض في CCHZ الخاصة بها. قام **جورج ويذريل** (George Wetherill) من كارنيجي في واشنطن، بإنشاء نماذج على الحاسوب لتشكل الكواكب الأرضية، حول نجوم مختلفة من حيث الكتلة[(٢)] ووجد أنه خلال المراحل المتأخرة من تشكل الكوكب، لا يتعلق

---

(١) لأن النجم القزم M يصدر جزءاً صغيراً من ضوئه في اللون الأزرق مقارنة بالشمس، وستكون سماء النهار لكوكب في مدار حول قزم M أقل إشراقاً؛ لأن الضوء الأزرق يتبعثر بقوة أكبر من الضوء الأحمر نتيجة تأثير الجزيئات في الغلاف الجوي للكوكب (ويسمى بتبعثر ريليه Rayleigh scattering). وستكون سماء النهار لكوكب في المنطقة الصالحة للحياة لنجم مضيف قزم -M نصف مشرقة مقارنة بسماء الأرض ـ ومع ذلك لا تزال مشرقة جدّاً لتكون رؤية النجوم ممكنة عندما يكون النجم فوق الأفق. هذه ليست مجرد نقطة نظرية؛ لأن الأرض نفسها تتوفر على ظواهر الكسوف الشمسي الجزئي. وحتى عندما تكون الشمس نصف محجوبة بالقمر، فإن عدداً قليلاً جدّاً من الناس يلاحظون السماء المظلمة ولا أحد يستطيع رؤية النجوم.

(٢) بدأت ويثيرل بعدة مئات من أجسام الكويكبات الصغيرة في كل محاكاة. انظر:
G. W. Wetherill, "The Formation and Habitability of Extra-Solar Planets," *Icarus* 119 (1996): 219-238.

توزيع الكواكب الأرضية نسبيّاً بكتلة النجم. إذا كان ويذريل محقّاً، فإن الكواكب الأرضية العملاقة ستتشكل في حوالي المسافة بين الأرض والشّمس (أكثر أو أقل بوحدة فلكية) بغض النظر عن كتلة النجم. وهذا يفترض أن الكواكب الضخمة إلى حدٍّ ما؛ كالأرض، ستقيم في CCHZ فقط إذا كانت نجومها المستضيفة تشبه شمسنا.

وبالنسبة لنجم صغير، فإنها ستميل إلى أن تقع خارج هذا النطاق، وبالنسبة لنجم أكبر، فإنها ستتجه داخله[(١)] ومع أننا لسنا على يقين بعد، فمستويات الإشعاع العالية بالقرب من نجم قزم حديث من صنف ـ M قد تحول أيضاً دون تجمع (coagulation) حبيبات الغبار هناك، والذي يُعد طليعة ضرورية لتشكل الكواكب الأرضية.

توجيه من المبدأ الأنثروبي الضعيف:

إذا افترضنا أن موضعنا نموذج عشوائي للكون المرئي، فيجب أن نترقب أن بيئتنا المحلية؛ أي: الشّمس والنّظام الشّمسي ليسا استثنائيين بأي اعتبار. وبما أن العديد من العلماء اليوم يأخذون بهذا الافتراض، فإنه من المفاجئ أن نكتشف أن موضعنا المحلي استثنائي للغاية. والطّريقة لحل هذه المفاجأة هي النظر في ما إذا كانت بعض أو كل هذه المميزات الشاذّة في الحقيقة لازمة لوجودنا بصفتنا مراقبين. يمكننا أن نفسر الانحراف الكبير عن المتوسط

---

(١) مع ذلك، وكما تظهر اكتشافات الكواكب خارج المجموعة الشمسية، ينتهي المطاف ببعض الكواكب العملاقة الغازية لأن تصبح قريبة من نجومها المضيفة. لسنا متأكدين بشأن ما حدث لأي كواكب أرضية في هذه الأنظمة، لكن إذا كانت العملاقة الغازية قد هاجرت إلى أماكنها الحالية فمن المرجح أنها بُعثرت من أنظمتها بسبب العمالقة المهاجرين. وهذا هو السبب الذي يجعل من هجرة الكواكب العملاقة طريقاً غير محتمل للكواكب الأرضية لينتهي بها الحال في نطاقات CCHZ الخاصة بالنجوم منخفضة الكتلة.

ومن الجدير بالذكر أيضاً أن عمليات البحث الحالية بطريقة دوبلر تجد عدداً قليلاً نسبيّاً من الكواكب العملاقة حول القزمة من صنف K وM. وسؤال ما إذا كان هذا عجزاً حقيقيّاً أو نوعاً من التحيز، لا يمكن بعدُ البت فيه. انظر:

C. Laws et al., "Parent Stars of Extrasolar Planets VII: New Abundance Analyses of 30 Systems," *Astronomical Journal* 125 (2003): 2664-2677.

لخاصية شمسية معينة كنتيجة لـ«تأثير انتقاء المراقب». بمعنى: أن هذا الانحراف هو أحد الشروط الضرورية بالنسبة لبيئة صالحة للحياة، ولو أن شمسنا لم تنحرف عن المتوسط، لما كنا هناك لمراقبتها. وبالنظر إلى هذا على أنه افتراض يتحقق، يمكننا تحديد احتياجات صلاحية الحياة من خلال مقارنة خصائص الشّمس بخصائص النجوم الأخرى (سننظر في المجرّة بنطاقها الواسع في الفصل التالي). وهذا تطبيق عملي لما يطلق عليه عادة اسم «المبدأ الأنثروبي الضعيف» (Weak Anthropic Principle-WAP)، أو المبدأ الإنساني، أنه ينبغي لنا أن نتوقع مراقبة الظروف مهما كانت استثنائية أو متوافقة أو حتى ضرورية لوجودنا كمراقبين(١) كثيراً ما يؤكد كُتّاب العلم أن الشّمس نجم متوسط أو عادي. كتب **جاي باساشوف** (Jay Pasachoff) في أحد نصوصه التمهيدية في علم الفلك الشهيرة، «الشّمس نجم متوسط الحجم لأن هناك من النجوم ما هو أكبر منها وما هو أصغر»(٢) ولكن عندما نقارن في الواقع بين خصائصها وخصائص النجوم الأخرى على التفصيل، فإننا نجد أن هذا ليس هو الحال(٣) هناك خاصيتان من الخصائص الأساسية للنجم وهما: كتلته وسطوعه (مع أن هاتين الخاصيتين ترتبطان بنجوم النسق الأساسي عن طريق

---

(١) نستفيد هنا من المبدأ الأنثروبي الضعيف من حيث تطبيقه على الكون القابل للملاحظة والقياس. هناك نماذج أخرى أكثر تخميناً للمبدأ الأنثروبي تفترض وجود «كون متعدد». سنعيد النظر في هذا الموضوع مرة أخرى في الفصل الثالث عشر.

(٢) **Jay Pasachoff, *Contemporary Astronomy* (Philadelphia: Saunders College Publishing, 1989), 129.**

لكي نكون منصفين، ينبغي أن نلاحظ أنه في الآونة الأخيرة، بدأ بعض الكُتّاب المدرسيين يلاحظون أن الشمس ليست نجماً متوسطاً. على سبيل المثال، يكتب مايكل زيليك (Michael Zeilik) تعليقاً على أحد أشكاله التي تبين الأرقام النسبية للنجوم من كل نوع في رسم هرمي، «يوضح هذا الهرم، الذي يدل على الأرقام النسبية للنجوم المشتركة، أن الشمس ليست نجماً «متوسطاً» أو «نموذجياً»»:

(*Astronomy: The Evolving Universe*, Eighth Edition (New York: John Wiley & Sons, 1997), 315, Figure 14.18).

(٣) انظر:

G. Gonzalez, "Is the Sun Anomalous?" *Astronomy & Geophysics* 40, no. 5 (1999): 5.25-5.29, and G. Gonzalez, "Are Stars with Planets Anomalous?" *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 308 (1999): 447-458; B. Gustafsson, "Is the Sun a Sun-like Star?" *Space Science Reviews* 85 (1998): 419-428.

علاقة السطوع بالكتلة) تقترب الشّمس من منتصف المجال من حيث الكتلة والسطوع مقارنة بطرفي المجال الأقصى والأدنى من بين النجوم القريبة. ولكن منتصف المجال والمتوسط ليسا نفس الشيء. لنفترض أننا نريد أن نقدر الوزن المتوسط للذكور البالغين، إذا اعتبرنا أطراف المجال وأخذنا المنتصف فإننا نحصل على قيمة دون ١٠٠٠ رطل؛ أي: المتوسط، ومع ذلك فقد يكون في مكان ما بين ١٥٠ و٢٠٠ رطل، تهيمن الحالات القصوى والنادرة على قيمة المنتصف. وبنفس الطّريقة، فإن متوسط كتلة النجم وسطوعه في الحقيقة أصغر بكثير من القيم الشّمسية الموافقة لها.

في الواقع، تصنّف الشّمس من بين النجوم الأكثر ضخامة والتي تشكل ما نسبته ٩٪ من نجوم مجرة درب التبانة. تشكل معظمها النجوم القزمة من صنف ـ **M**. (انظر: اللوحة ١٥). وبالتالي، فوفقاً للمبدأ الأنثروبي يمكننا تفسير هذا بفرض أن وجود نجم يعادل من حيث حجمه الشّمس على الأقل أمر لازم لوجود الحياة المعقّدة على كوكب شبيه بالأرض؛ لأننا قمنا بـ«اختيارها» من خلال وجودنا كمراقبين[١] وهذا يتسق مع توقعاتنا النظرية بأن النجوم منخفضة الكتلة لا توفر بيئات ملائمة للحياة. بالطبع يمكننا تضييق هذا النطاق إلى أبعد من ذلك من خلال تطبيق حججنا النظرية ضد النجوم العملاقة (أمور يصمت عنها المبدأ الأنثروبي حين تطبيقه على توزيع الكتل النّجمية). الشّمس نجم مستقر إلى حدٍّ كبير. يتغير ضوءُه الناتج بنسبة ٠,١ في

(١) لا يعني وجودُ النجوم الأكبر حجماً من الشمس، ولا وجودُ النجوم غير الاعتيادية أو المميزة، أن الشمس ليست شاذة. على سبيل المثال، أظهر نجم (FG Sagittae) سلوكاً على مدى القرن الماضي مما يمكن أن نصفه بأنه مميز. تعلم علماء الفلك شيئاً جديداً عن التطور النجمي من خلال دراسة هذا النجم. وبالمثل، نأمل أن نتعلم شيئاً عن متطلبات صلاحية الحياة من خلال دراسة كيفيات شذوذ خصائص الشمس. لاحظ أيضاً أننا نعني بـ«الشاذة» «الانحراف عن المتوسط بشكل كبير». إننا لا ندعي أن الشمس تعرض فيزياء غريبة أو ظواهر فريدة من نوعها. وأخيراً، فإن تطبيق المبدأ الأنثروبي الضعيف على الشمس قد لا يخبرنا بكل الطرق التي تتطلب وفقها صلاحيةُ الحياة قيم بارامترها المحدد؛ لأن بعض خصائصها الضرورية للحياة قد تكون قريبة من متوسط بالنسبة للنجوم الشبيهة بالشمس.

المئة فقط خلال دورة كاملة للبقع الشّمسية (حوالي أحد عشر عاماً)، وربما أكثر قليلاً على المقياس الزمني بالقرون. ويعتقد أن معظم هذا التّغيّر إن لم يكن كله يعود إلى تشكل واختفاء البقع وصياخدها الشّمسية (بقع لامعة) على فوتوسفير الشّمس. على مستوى معين، فجميع النجوم متغيرة[١] من بين النجوم الشبيهة بالشّمس من حيث العمر ونشاط البقع الشّمسية، يتغير ضوء الشّمس أقل بكثير من المتوسط[٢]، مما يمنع تقلبات المناخ العنيفة على كوكب الأرض[٣] فبالنظر إلى هذه المميزات الخاصة مجتمّعة، إذن، يوحي بأن الشّمس استثنائية بالشكل الذي يعزز صلاحية الأرض للحياة التكنولوجية.

---

(١) تصف الدراسات التالية التباين النجمي لجميع أنواع الطيف:

S. J. Adelman, "On the Variability of Stars," *Information Bulletin on Variable Stars* no. 5050 (2001): 1-2; L. Eyer, and M. Grenon, "Photometric Variability in the HR diagram," *ESA SP-402* (July 1997), 467-472.

تبين أن أقل النجوم تغيراً تنتمي إلى أنواع طيفية من A0 إلى K0 من فئات السطوع من II إلى IV؛ تميل نجوم النسق الأساسي (من فئة السطوع V) إلى أن تكون مستقرة، لكن معظمها نجوم نشطة حديثة العهد.

(٢) G. W. Lockwood, B. A. Skiff, and R. R. Radick, "The Photometric Variability of Sun-like Stars: Observations andvResults, 1984-1995," *Astrophysical Journal* 485 (1997): 789 - 811.

وقد جادل البعض أن منظورنا الخاص للشمس كما يَعْرِضها قرب خط الاستواء من مسار الشمس، يُحرّف قياساتنا لتغيرات ضوئها. على النقيض من منظورنا للشمس، نلاحظ نجوماً أخرى ذات محاور دوران موجهة عشوائيّاً. وهذا الاعتماد على منظور المراقب ينتج من حقيقة أن البقع الشمسية تميل إلى أن تحدث قرب خط الاستواء وأن صَياخِد الشّمس تتميز بتباين أعلى قرب حافة قرص الشمس. إذا كنا نراقب الشمس فوق أحد أقطابها، فإن تغير الضوء سيكون أكبر. تظهر عمليات المحاكاة الرقمية أن نقطة مشاهدة المراقب لا يمكن أن تفسر تغيرات السطوع المنخفضة للشمس. انظر:

R. Knaack et al., "The Influence of an Inclined Rotation Axis on Solar Irradiance Variations," *Astronomy & Astrophysics* 376 (2001): 1080-1089.

(٣) وكما لاحظنا في الفصل الثاني، هناك أدلة متزايدة على أن مناخ الأرض يتعلق بشكل وثيق بنشاط الشمس. وتتضمن هذه الأدلة العلاقة بين درجة الحرارة العالمية وطول دورة البقع الشمسية خلال القرن الماضي والارتباط بين تغيرات الكربون ـ ١٤ في الغلاف الجوي والنشاط الشفقي و«الذروة القروسطية» و«العصر الجليدي الصغير». لمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع، انظر:

T. I. Pulkkinen et al., "The Sun-Earth Connection in Time Scales from Years to Decades and Centuries," *Space Science Reviews* 95 (2001): 625-637.

هناك ظواهر شاذة أخرى تتعلق بدورة البقع الشمسية، لكنها تحتاج إلى مزيد من البحوث لتأكيدها. انظر:

D. F. Gray, "Stars and Sun: Treasures and Threats," in *The Tenth Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, R. A. Donahue and J. A. Bookbinder, eds. (1998), 193-209.

والطّريقة الأخرى لتطبيق منطق «المبدأ الأنثروبي» هو أن ننظر فيما ليس عليه كوكبنا. فمثلاً، نحن لا نعيش على قمر كبير يدور حول كوكب غازي عملاق، أو على كوكب ذو مدار انحراف إلى حدٍّ كبير، أو على كوكب أرضي يفتقر إلى قمر كبير، أو على كوكب يدور حول نجم قزم من صنف ـ M. يبدو من المرجح أن هذه هي الصور الكوكبية الأكثر شيوعاً مقارنة بكوكبنا. لو أن بيئتنا المحلية كانت مجرد شريحة عشوائية من الفضاء، فمن المحتمل أننا كنا سنجد أنفسنا في أحد هذه المواضع، أو بالأحرى، على درب واسع وفارغ من الفضاء بين النجوم، أو حتى بين المجرات. يقول المبدأ الأنثروبي المعقول جدّاً أن هذا غير ممكن؛ لأن لا واحداً من هذه الأماكن يتوافق مع وجود الحياة التكنولوجية. وفقاً للمبدأ الأنثروبي الضعيف، والحس المشترك لهذه المسألة، فإنه يمكننا أن نتوقع أن نجد أنفسنا فقط في الأماكن التي تتوافق مع وجودنا. ويبدو أن الأماكن غير المحتملة هي المؤهلة لذلك.

مسطرة كامنة:

كما ناقشنا فيما سبق، فدرجة حرارة سطح الشّمس وسطوعها المطلق أو ضياؤها، هو الأمثل تقريباً لاستخراج المعلومات من طيفها. وكما أشرنا في الباب السابق، تظهر الشّمس أيضاً أقرب للمثالية لدعم الحياة المعقّدة. وكما اتضح، فإن المميزات الخاصة للشمس، ومدارنا حولها، مهمان أيضاً للاكتشاف العلمي. وتعتبر طريقة التزيح المثلثي النجمي إحدى أهم الأدوات في عُدّة عالم الفلك، بيّنا سابقاً كيف تمّ استخدام الأرض والقمر كـ«مساطر» لقياس المسافات في النّظام الشّمسي بطريقة التزيح. وبالمثل، يعمل مدار الأرض كمسطرة خط أساس لقياس المسافات التي تبعد بها النجوم القريبة. ولأن موضع الأرض يتغير خلال السنة، فإن النجوم القريبة تبدو كأنها تتمايل في حركة لاإرادية تتعلق بالنجوم الثابتة البعيدة؛ وتسمى هذه الحركة الظاهرية بالتزيح النجمي السنوي.

سيكون لسكان عطارد أو الزّهرة الافتراضيين خط أساس أصغر، ذلك أن

هذه الكواكب تتوفر على مدارات صغيرة حول الشّمس، بينما سيكون أكبر بالنسبة لسكان المرّيخ وأكبر منه بالنسبة لسكان المشتري، لكن الخط الأساس الأكبر يأتي بتكلفة: الزمن. يدور كوكب المشتري حول الشّمس خلال إثنتي عشرة سنة تقريباً. ولقياس حركتين أو ثلاثة من تذبذب النجم (إقبالاً وإدباراً) فإن الأمر سيستغرق عدة عقود. ولقياس المسافات إلى النجوم الأخرى، فإن المدار المثالي للكوكب ينبغي أن يكون واسعاً بما يكفي لتوفير التزيح المناسب، لكن ليس واسعاً جدّاً بحيث يأخذ مدار واحد وقتاً طويلاً جدّاً لأن يتمّ مقابل عمر المراقب.

وإذا افترضنا وجود الكواكب حول النجوم القزمة من صنف ـ M الشائعة فإنها لن تقدم لسكانها سوى أداة قياس ضعيفة جدّاً (على فرض أنه يمكن التغلب على جميع المشاكل الملاحظة أعلاه) وبما أن النجوم القزمة من صنف ـ M مصادر ضعيفة للضوء كما سبق وأشرنا، فإن الكوكب يحتاج مداراً ضيّقاً جدّاً للحفاظ على المياه السائلة على سطحه[1] إن علماء الفلك على كوكب حول نجم تقدر كتلته ٢٠ في المئة من كتلة الشّمس، سيكون تحت تصرفهم خط الأساس فقط حوالي ١٠ في المئة من خط الأساس الخاص بنا. وهذا يعني: أن بإمكانهم قياس ٠,١ في المئة فقط من النجوم التي يمكننا قياسها من نظامنا الشّمسي (على افتراض وجود نفس المستوى من التكنولوجيا)، وكلها تقريباً ستكون نجوماً منخفضة الكتلة. وبعبارة أخرى، سيتطلب الأمر من مراقبي التزيح النجمي ألف نظام للكواكب والنجوم القزمة لمراقبة حجم الفضاء الذي يمكننا استطلاعها من كوكبنا الوحيد.

ونظراً لأننا ندور حول أحد النجوم الضخمة نسبيّاً والنادرة نوعاً ما، وبالتالي نجوم مضيئة، يمكننا قياس تزيحات نجوم O وB العملاقة الأكثر ندرة وبالتالي الأكثر بعداً، وهذا مهم للغاية إذا كنا بصدد أن نفهم فيزياء النجوم؛

---

(١) حتى لو كان بإمكان كوكب صالح للحياة أن يوجد على مسافة وحدة فلكية واحدة من نجم قزم -M، فإن فترته المدارية ستكون أطول بسبب الجاذبية الضعيفة من النجم. ويُستنتج هذا من قوانين نيوتن للحركة.

أو B، يمكنهم تقدير مسافته دون الاضطرار إلى قياس تزيحه. فهذه الطّريقة لا تنطبق على نجوم النسق الأساسي الأقل ضخامة، لذلك كانت نجوم O وB مسابير مفيدة جدّاً لمجرة درب التبانة؛ لأن تألقها يسمح لنا برؤيتها على مسافات كبيرة. سنناقش أنواعاً أخرى من الشموع القياسية النّجمية في الفصل الثامن.

حقق علماء الفلك أول قياسات موثوقة للتزيح النجمي في عامي ١٨٣٨ و١٨٣٩م. وفي هذين العامين قدم **فريدريش بيسل**، **فيلهلم ستروف** (Wilhelm Struve)، **وتوماس هندرسون** تقريراً لتزيحات ثلاثة نجوم: النسر الواقع (Vega)، ٦١ سيغني (٦١Cygni)، وألفا سنتوري (Alpha Centauri)، على التوالي[١] ظلَّ قياس التزيّحات أمراً صعباً حتى بدأ علماء الفلك باستخدام التصوير بشكل منتظم في النصف الثاني من القرن التاسع عشر. ولم يتمّ قياس تزيح آخر بنجاح إلا بعد انقضاء عدة عقود. حتى بحلول عام ١٩٠٠م، حدَّد علماء الفلك تقريباً تزيحات مائة نجم فقط؛ وما بلغوا عام ١٩٥٠م حتى تمكنوا من قياس آلاف عدة[٢]

يجب أن تتقارب العديد من المميزات المتباينة للبيئة لجعل هذا ممكناً؛ ينبغي أن يكون الكوكب الذي يعيش فيه المراقب بعيداً بما يكفي عن نجمه المضيف، ولا يجب أن يكون غلافه الجوي كثيفاً جدّاً أو ضبابيّاً. كما يجب

---

(١) لمراجعة مقروء حول تاريخ قياسات التزيح (الناجحة جزئيّاً) نذكر:

A. W. Hirshfeld, *Parallax: The Race to Measure the Cosmos* (New York: W. H. Freeman, 2001).

(٢) يعرض أقرب نجم، بروكسيما سينتوري، الذي يقع على مسافة ٤,٢ سنة ضوئية، أكبر زاوية تزيّح قدرها ٠,٧٧ ثانية قوسية. ويقدر تزيّحُ هدف بيسل، ٦١ سيغني، ثلث ثانية قوسية فقط. ولا عجب أنّ التقدم في ميدان التزيح النجمي كان ناجحاً بشكل بطيء. يُحرّف الغلاف الجوي للأرض الصور النجمية إلى أحجام قريبة من ثانية قوسية واحدة، لكن عدداً قليلاً من المواقع يحقق أحياناً نصف ثانية قوسية لفترات قصيرة. كان بيسل قادراً على قياس زاوية تزيح أصغر من هذا الحد المفروض على الغلاف الجوي لسببين: **أولاً**: من الممكن قياس موضع مركز الصورة غير الواضحة للنجم بدقة أفضل بحوالي ثلاث إلى خمس مرات من حجمها الظاهري. **ثانياً**: اختصرت الملاحظات المتعددة التي تراكمت على سنين عديدة، اللايقين الإحصائي للحل النهائي. ومع ذلك، فقد كانت أولى قياسات التزيح صعبة وبالكاد كانت ممكنة من سطح الأرض.

أن يكون هناك ما يكفي من النجوم بجوار النجم المضيف. وهذا يجعل الأرض مؤهلة من جميع النواحي؛ إذ تتحقق أول خاصيتين داخل النّظام الشّمسي (وسنناقش الثالثة في الفصل الثامن)، وكما رأينا، فموقع الأرض في النّظام الشّمسي أمر حيوي أيضاً لصلاحيتها للحياة. ولو أن الأرض كانت أقرب للشمس لكان من المحتمل أن تكون دفيئة بغلاف جوي كثيف كغلاف الزّهرة. ولو كانت أكثر بُعداً من الشّمس لكانت في حاجة إلى غلاف جوي أكثر كثافة ـ وأكثر انسداداً (مانعاً أكثر) ـ مع قدر أكبر من ثاني أكسيد الكربون لإبقاء المياه المتدفقة على سطحه. ولكن غلافاً كهذا حتى مع توفر المياه السطحية، سيظل معادياً لحياة الحيوان؛ لذا ففي كلتا الحالتين، ستكون الملاحظات من على السطح أدنى من تلك التي نتمتع بها. ومجدداً، فإن الموقع الأكثر صلاحية للحياة يوفر أيضاً بيئة شاملة ممتازة للاكتشاف العلمي.

مختبر مفيد للفيزياء الفلكية:

إذا كان مدار الأرض يمنح خط أساس جيد جدّاً لقياس المسافات التي تبعد بها النجوم القريبة، تعمل الشّمس بمثابة مختبر فيزيائي فلكي. نعم، الشّمس أقرب بكثير من النجوم الأخرى، لذلك تسهل دراستها. وبصرف النظر عن قربها لنا، كما لاحظنا أعلاه، فإنه يمكننا استخراج المزيد من المعلومات عالية الجودة من طيفها أكثر من أطياف معظم أنواع النجوم الأخرى[(١)]

---

(١) وبطبيعة الحال، يمنحنا قربنا أفضلية غير عادلة في مقارنة طيف الشمس بالنجوم الأخرى بسبب تأثير اتّساع دوبلر الدوراني. عندما نلاحظ طيف نجم بعيد غير ثابت، تتسع الخطوط الطيفية بفعل دورانها؛ تنزاح أجزاء النجوم القادمة نحونا إلى اللون الأزرق وتنزاح الأجزاء التي تتحرك بعيداً إلى الأحمر. يمكننا أن نُطوّق تأثير الاتساع الدوراني من خلال مراقبة مركز قرص النجم، الذي يتخذ حركة عمودية باتجاه المراقب (يشير تأثير دوبلر إلى الحركة الشعاعية فقط). وهكذا، بغض النظر عن السرعة الدورانية للنجم الذي ندور حوله، يمكننا أن نزيل بشكل فعال تأثير الاتساع الدوراني بأكمله. يعتبر الدوران خط الاتساع المهيمن لنجوم O وB. وحتى النجوم الأكثر سطوعاً (من نفس النوع الطيفي مثل الشمس) ستظل تمتلك خطوطاً طيفية أكثر اتساعاً بشكل جوهري (نظراً لحركات اضطرابية أكبر في الغلاف الجوي).

ومع أن الشّمس شاذة في العديد من النواحي إلا أن قرب بعض خصائصها من منتصف المجال أمر يساعد في بناء النماذج النظرية للنجوم، يجب أن يبدأ علماء الفلك بالشّمس، ومن ثَمَّ الاستقراء على ضياءات ودرجات حرارة مرتفعة ومنخفضة بغرض وصف أنواع مختلفة جدّاً من النجوم. لو كانت الشّمس على أحد طرفي مجال درجة الحرارة ـ إما ساخنة جدّاً أو باردة جدّاً ـ لكانت مثل هذه الاستقراءات أكثر عرضة للأخطاء المنهجية. يمتاز الغلاف الجوي المحيط بالشّمس بخصائص النجوم الحارة (اتصال واضح في طيفها الضوئي وخطوط الامتصاص الناجمة عن التحولات في الذرات المتأينة) والنجوم الباردة (خطوط الامتصاص الجزيئية في الطيف؛ ومنطقة الحمل الحراري قرب سطحه). لو كان بإمكان الفلكيين أن يوجدوا بالقرب من فئة نادرة جدّاً من النجوم، كـ(نجم) عملاق أزرق ضخم (Blue supergiant)، لمروا بأوقات عصيبة في توسيع معرفتهم حول نجمهم إلى نجوم النسق الأساسي الأكثر انتشاراً.

كان علماء الفلك قادرين على كشف البنية الداخلية للشمس لبعض الوقت، لكنهم لم ينجحوا إلا مؤخراً في التقاط الذبذبات على أسطح بضع نجوم أخرى شبيهة بالشّمس[(١)] تُهيَّج ذبذبات الشّمس بواسطة تيارات الحمل الحراري لطبقاتها الخارجية، وبالتالي فإن النجوم الأخرى ذات التيارات المماثلة يجب أن تصدر ذبذبات مماثلة. إذا كانت النظرية متماسكة فينبغي أن تظهر نجوم النسق الأساسي الأقل ضياءً أطوالاً موجية صغيرة، تسمى «سعات الموجة oscillation amplitudes»، في سرعتها وسطوعها. فعلى سبيل المثال، يجب أن يبدي نجم قزم K5، تقدر كتلته نحو ٦٠ في المئة من كتلة شمسنا، سعات سرعة وسطوع مقدارها ٠,٣ و٠,٥ أضعاف مثيلاتها الخاصة بالشّمس

(١) تم الكشف عمّا يسمى بذبذبات نمط ـ p بواسطة طريقة دوبلر في ثلاثة نجوم ساطعة مثل الشمس، ألفا سينتوري A، بيتا هايدري (Beta Hydri)، وبروسيون (Procyon). وللاطلاع على مناقشة حول الكشف عن الذبذبات في ألفا سينتوري A، انظر:

F. Bouchy and F. Carrier, "P-mode Observations on? Cen A," *Astronomy & Astrophysics* 374 (2001): L5-L8.

على التوالي[1] هذه القيم صغيرة بما يكفي لخلق مشاكلَ خطيرةٍ تتعلق بالملاحَظة بالنسبة لعلماء الفلك المتخصصين في هذا المجال، المدعوِّينَ بـ«اختصاصيي علم الزلازل الشّمسية» (helioseismologists).

تقدم النجوم منخفضة الكتلة أيضاً إمكانية ضعيفة للاختبار الرئيسي الآخر للنماذج النّجمية ـ النيوترونات. في بداية ثلاثينات القرن العشرين، اقترح فيزيائيون مثل **ولفجانج باولي** (Wolfgang Pauli) **وإنريكو فيرمي** (Enrico Fermi)؛ **أولاً**: احتمال أن الكون يحتوي على جسيمات محيرة تسمى الآن النيوترونات، يتمّ إنتاجها بشكل كبير في قلب النجوم. قد تكون هذه الجسيمات صغيرة جدّاً، خفية وتأبى التفاعل بحيث تمر من خلال الأرض كلها دون أن تضرب ذرة واحدة. والكشف عنها حتى في نجم مثالي، سيتطلب أجهزة كشف تحت أرضية ضخمة ومكلفة، توفر العديد من الفرص لتصادم النيوترونات بالذرات الأخرى. لكن ابتداء من سنة ١٩٦٥م، بدأ العلماء بالكشف عن النيوترونات من الشّمس، فقط باستعمال أجهزة كشف كتلك[2]

(١) القيم الموافقة لنجم F0 تقدر كتلته ١,٥ مرة كتلة الشمس، هي ٣,٥ و٢,١ مرات قيم الشمس. نقيم هذه التقديرات بالاستناد إلى الدراسة التالية:

H. Kjeldsen, and T. R. Bedding, "Amplitudes of Stellar Oscillations: The Implications for Asteroseismology," *Astronomy & Astrophysics* 293 (1995): 87-106.

(٢) تنتج التفاعلات النووية المعنية في تركيب البورون ـ ٨ في نواة الشمس أعداداً كبيرة من النيوترونات عالية الطاقة كل ثانية، يمر الكثير منها عبر الأرض. وإذا كانت فرصة ذرة معينة في التفاعل مع نيوترينو شمسي صغيرة للغاية، فإن فرصة تفاعل أحد هذه النيوترينات مع ذرة معينة في كاشف كبير، عالية جدّاً. كلما كان الكاشف أكبر، كانت الفرص أعلى. لذلك فإن كاشفات النيوترينو الشمسية كبيرة. بدءاً من سنة ١٩٦٥م، قاد ريمون ديفيس فريقاً صغيراً من العلماء لإعداد تجربة للكشف عن النيوترينات المنتَجة في الشمس.

يتكوّن مكشافه من مائة ألف غالون من البيركلورثيلين (perchloroethylene) في منجم الذهب هومستاك بداكوتا الجنوبية. ويقوم هذا المكشاف على التفاعل النووي الذي ينتج عندما تمتص ذرة الكلور في جزيء بيركلورثيلين نيوترينو، وتحوله إلى ذرة أرغون في هذه العملية. كانت تجربة دافيس التجربة الوحيدة التي رصدت النيوترينات الشمسية بين عامي ١٩٦٨ و١٩٨٨م. وحتى مع «تلسكوب النيوترينو» الكبير هذا، لم يُكشف سوى عن نيوترينو شمسي واحد في كل ثلاثة أيام تقريباً. ولم يكن هذا بسبب تفاعل النيوترينوهات الضعيف جدّاً مع المادة فقط؛ بل أيضاً؛ لأنه في تجربة ديفيس، ينتج تفاعل =

كانت الفيزياء الفلكية النيوترونية لتكون أصعب بكثير لو كانت شمسنا أقل قليلاً فقط من حيث الحجم أو الإضاءة(١)، أو إذا كنا نعيش في وقت مبكر جدّاً من تاريخ الشّمس. يساعد أيضاً موقعنا بالقرب من الحدود الداخلية للنطاق حول النجمي الصالح للحياة (كما هو معرف تقليديّاً). وحتى في المرّيخ، سيكون تدفق النيوتروني أقل بـ ٢,٥ مرة تقريبا(٢)

حلَّت أجهزة كشف النيوترونات الإضافية التي تمّ وصلها بالإنترنت منذ

= الكلور بشكل حصري تقريباً بواسطة نيوترونات البورون ـ ٨ ذات الطاقة العالية. اكتشفت تجربة ديفيس أيضاً جزءاً صغيراً من النيوترونات الشمسية متوسطة الطاقة المنتجة من طرف البريليوم ـ ٧، على الرغم من عدم وجود وفرة نيوترونات تفاعلات بروتون ـ بروتون. وقد حصل ديفيس على جائزة نوبل في الفيزياء سنة ٢٠٠٢م، وهي بمثابة دليل على القيمة التي توليها الأوساط العلمية لأبحاث النيوترينو الشمسي.

للاطلاع على مقروء لتاريخ علم الفلك النيوتريني الشمسي، انظر:

J. N. Bahcall, and R. Davis, Jr., "The Evolution of Neutrino Astronomy," *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 112 (2000): 429-433.

(١) يعتبر إنتاج نيوترونات البورون ـ ٨ المهمة حساسة لدرجات الحرارة. قبل حوالي ١,٥ بليون سنة، كان تدفق نيوترينو البورون ـ ٨ الشمسي نحو ثلث قيمته الحالية. انظر:

E. Brocato et al., Stars as Galactic Neutrino Sources," *Astronomy & Astrophysics* 333 (1998): 910-917.

يعتمد معدل الإنتاج تقريباً على القوة الخامسة والعشرين (25th power) لدرجة الحرارة المركزية للشمس. ولو كانت درجة حرارة نواة الشمس أقل بنسبة ٥ في المائة فقط؛ لأنتجت ربع تدفق نيوترينو البورون ـ ٨. في الواقع، بما أن درجة حرارة نواة الشمس كانت في تزايد منذ بداية دمج الهيدروجين في نواتها، فإن تدفق نيوترينو بورون ـ ٨ الشمسي كان يتزايد باطراد. تزداد درجة حرارة نواة النجم خلال مكوثه في النسق الأساسي؛ لأن وزنه الجزيئي المتوسط (وبالتالي كثافته) يزداد كلما تجمعت البروتونات لتشكل نوى الهيليوم. كما يزداد حجم الشمس؛ لأن الطبقات خارج نواتها تتوسع استجابة للسطوع المتزايد.

(٢) يُنتج تفاعل بروتون ـ بروتون (p-p) الأساسي معظم الطاقة (ومعظم النيوترونات) في الشمس؛ يُنتج التفاعل الجانبي للبورون ـ ٨ الحساس لدرجة الحرارة واحداً فقط في عشرة آلاف نيوترينو شمسي (على الرغم من أنها ـ النيوترونات ـ أكثر نشاطاً ويسهل اكتشافها). وهذا يعني: أن سطوع نجم شبيه بالشمس يتناسب طرديّاً مع معدل إنتاج النيوترينو p-p، لكن معدل إنتاج نيوترينو البورون ـ ٨ أكثر حساسية له. وهكذا، وبما أن طاقة الضوء المرئي التي تغادر سطح الشمس مع معدل إنتاج النيوترينو p-p، فإن المراقبين في CHZ الخاص بنجم آخر شبيه بالشمس ذي كتلة مختلفة سيتعرضون لنفس تدفق النيترينو p-p. وهذا لأن كلّاً من تدفق النيوترينو وشدة الضوء ينخفضان مع مربع المسافة. هذه العلاقة لا تنحفظ بالنسبة للنجوم الأكبر حجماً من الشمس، والتي تنتج معظم طاقتها من تفاعلات كربون ـ نيتروجين ـ أكسجين (CNO).

أواخر ثمانينات القرن العشرين، لغز نيوترينو الشّمس. ومع ذلك نظر بعضهم أن النيوترونات ليس لها كتلة، وهذه التجارب الحديثة تفترض أن لها كتلة بالفعل[1] وهذا أمر مهم لعلم الكون، ذلك أن النيوترونات كانت مرشحة لفترة طويلة لحل جزء على الأقل مما يدعى بمشكلة المادة المظلمة. أدت تلسكوبات النيوترينات التي بنيت لدراسة الشّمس أيضاً إلى الكشف عن النيوترونات مصادفة من سوبرنوفا ١٩٨٧م A في سحابة ماجلان الكبرى (Large Magellanic Cloud)، إحدى المجرات التابعة لمجرة درب التبانة. مثل هذه الأحداث نادرة جدّاً في مجرة درب التبانة أو بجوارها مباشرة. أتاح هذا الحدث لعلماء الفلك نظرة فريدة في آلية عمل السوبرنوفا.

من خلال إنتاج النيوترونات يمكننا الكشف من على الأرض، تعمل نواة

---

(١) حفز النجاح المبكر مع تلسكوب النيوترينو لديفيس الفيزيائيين والحكومات لبناء مشاريع أكبر وأكثر طموحاً، مثل أجهزة الكشف سوبر كاميوكاندي (Super-Kamiokande water) وغاليكس (GALLEX gallium). هذه التجربة الأخيرة هي التجربة الوحيدة التي تتأثر بوفرة نيوترينات p-p. جميع تلسكوبات النيوترينو هي أجهزة الكشف ذات حدود طاقية. بمعنى أنها تخبرنا بالتدفق الإجمالي للنيوترينو فوق حد أدنى محدد ـ يمكن كشفه ـ من الطاقة. يتميز كل نوع من تلسكوبات النيوترينو بحد طاقي مختلف.

واليوم، لا يتمثل الدافع إلى الاهتمام ببحوث النيوترينو الشمسي في الرغبة في تأكيد النماذج النجمية فحسب؛ بل يتمثل أيضاً فيما يمكننا أن نتعلمه عن النيوترونات نفسها. كشف كل تلسكوب نيوترينو منذ ديفيس عن نيوترينات شمسية أقل بكثير مما كانت تتوقعه أفضل النماذج الشمسية؛ ولم يستطع تقدم تكنولوجيا التلسكوب النيوتريني ولا النماذج الشمسية أن تحل التناقض. والحل الأكثر شيوعاً لهذا الغموض هو تحويل نيوترينات الإلكترونات (النوع الذي التقطته جميع تلسكوبات النيوترينو تقريباً) إلى نيوترينات «مميزة» أخرى (التاوون والميون) في طريقها إلى الأرض.

ولاختبار هذه النظرية، قام الفيزيائيون ببناء كاشف نيوترينو جديد حساس للنيوترينات من جميع الأنواع، مرصد سودبوري للنيوترينو (Sudbury Neutrino Observatory-SNO). يتكوّن SNO من ألف طن متري من المياه الثقيلة النقية للغاية (بقيمة ٣٠٠ مليون دولار) في خزان يقع تحت الأرض بستة آلاف متر. (وغني عن القول أنه ليس من السهل جدّاً إعداد هذه التجربة). وهو محاط بـ ٩,٤٥٦ أنبوب مُضاعِف ضوئي تكشف عن الضوء المنبعث عندما يتفاعل النيوترينو مع الماء. وكما هو الحال في جميع تلسكوبات النيوترينو السابقة، فمرصد سودبوري حساس لنيوترونات البورون ـ ٨، حيث يكشف منها عشرة في اليوم. وقد تم الإعلان عن نتائجها الأولى في يونيو ٢٠٠١م. وتم جمعها والنتائج التي حصلت عليها مكاشف النيوترينو الأخرى، فأكدوا أن تحول النيوترينو حاصل. انظر:

Q. R. Ahmad et al., "Measurement of the Rate of V^{e} + d p. + p. + e^{-} Interactions Produced by 8B Solar Neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory," *Physical Review Letters* 87 (2001): 071301.

الشّمس كمختبر لا غنى عنه لمعرفة الكبير جدّاً والصغير جدّاً، في الوقت الذي تقدم فيه اختباراً مباشراً لنماذجنا الشّمسية[١] بالكاد تكون الشّمس مضيئة بما يكفي بالنسبة لعلم الفلك النيوتروني وعلم الزلازل الشّمسية لتكون مؤسسات عملية. حتى المراقبون الذين لهم نفس مستوى معيشتنا التكنولوجية على أحد النجوم القزمة K أوM البعيدة والأكثر انتشاراً لم يكن في الإمكان أن تتاح لهم هذه الاختبارات الهامة المتعلقة بالملاحظة.

يبدو إذن أن البيئة المحلية للشمس توفر أفضل موطن للحياة المعقّدة. كما تكشف ـ في الوقت نفسه ـ خصائصُها المميزة عن معلومات علمية حيوية أكثر وفرة مما توفره أنواع عدة من النجوم المنتشرة. كما تقدم لنا أيضاً مثالاً نموذجيّاً للنجوم بشكل عام. والعجيب أنه عندما كان علماء الفلك في حاجة لاختبار نظرياتهم، اكتشفوا أن التجربة تمّ إعدادها مسبقاً. وكما سنرى، فإن معظم الأماكن في مجرة درب التبانة، تقدم مواقع مراقبة أقل إفادة مع كونها أكثر عدائية للحياة.

(١) وبغرض الإتمام ينبغي أن نلاحظ أن تحولات النيوترينو تُدرس أيضاً باستخدام النيوترونات المنتجة في الغلاف الجوي للأرض بواسطة الأشعة الكونية وكذا مسرعات الجسيمات. انظر:

T. Kajita and T. Yoji, "Observation of Atmospheric Neutrinos," *Reviews of Modern Physics* 73 (2001): 85-118.

ومع ذلك، كان النجاح المبكر لتجارب النيوترينو الشمسي هو ما حفز هذه التجارب الأخرى للنيوترينو. وكان التناقض بين تدفق النيوترينو الملاحظ من الشمس والقيمة المتوقعة هو ما دفع الفيزيائيين إلى اقتراح نموذج تحول النيوترينو في البداية. لتجارب النيوترينو الشمسي ميزة من حيث إن معدل إنتاج النيوترينو حساس جدّاً لحالة نواة الشمس، التي يستطيع الفلكيون دراستها بواسطة النيوترينات. من ناحية أخرى، إذا كان للفلكيين ما يكفي من الثقة في النماذج الشمسية، يمكنهم إذن أن يستخدموا الشمس كمسرّع طبيعي.

الفصل الثامن

موطننا المجرّي

من المثير أن موقعنا الخارجي نسبيّاً على ذراع ملزوني لمجرّة عادية يبدو عظيم الحظّ فعلاً. إذ لو كنّا في موقع أكثر مركزية ـ لنقل، قرب مركز المجرّة ـ لأصبح من المرجّح أنّ معرفتنا لطبيعة المجرّات الأخرى مثلاً، ما كانت لتكون واسعة معمقة. ولعلّ الضّوء المنبعث من النّجوم المحيطة، في مثل هذا الموقع سيحجب عنّا رؤية الفضاء بين المجرّات. ولولا معرفتنا لهذه المواضيع لم يكن لعلم الفلك وعلم الكون أبداً، أي سبيل للتّقدّم.

ـ مايكل دنتون(1)

جزيرتنا الكونية:

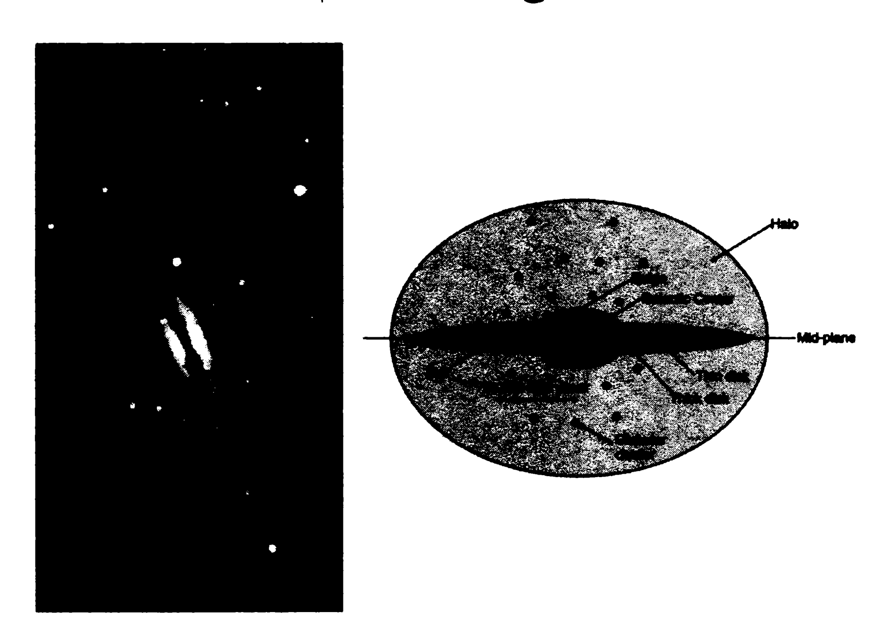
إذا نظرت إلى السّماء في ليلة واضحة بعيداً عن أضواء المدينة فإنّك ترى شريطاً ضبابيّاً من الضّوء الأبيض يبدو كسلسلة مضيئة وناعمة من السّحب. تبدّى للصينيين القدماء كنهر في السّماء. وفسّره اليونانيون والرّومان بأسطورة هرقل، ابن زيوس، الذي عضّ ثدي زوجة زيوس، هيرا، فأهرق حليبه الأبيض في هذا السّماء الحالك. أطلق الرّومان على هذا الجزء من السّماء اسم درب التّبّانة (Via Lactea)، فثبت هذا الاسم عند الغرب على الأقل. (وللإشارة فكلمة **المجرّة**، مشتقة من الكلمات اليونانية لدرب التّبّانة).

كانت هناك بعض التخمينات الجيدة التي فسرت هذه الأعجوبة في السماء الليلية، لكن لا أحد أدرك حقّاً ما تكون حتى صوَّب **غاليليو** تلسكوباً صوْب

---

(١) Michael Denton, *Nature's Destiny* (New York: The Free Press, 1998), 372.

الشريط سنة ١٦٠٩م، وأبان عن «مجموعة لا تعد من النجوم»[١] ونحن الآن نعلم أنها تتكوّن من نجوم توجد في مجرتنا، تتركز بكثافة لأننا ننظر من طرف المجرّة إلى داخل القرص، وبالتّالي فإنّنا نراها على امتداد يظهرها أكثر سمكاً ممّا لو نظرنا من اتّجاهات بعيدة عن شريط درب التّبّانة. ولمّا ظننّا أنّها الكون كلّه، اتّضح في واقع الأمر أن مجرّتنا واحدة من مليارات المجرّات. تدعى «الجُزُر الكونيّة» التي عرّفها الفلكيّون سابقاً أنّها مجرّد بقع ضبابية، بالسّديم (nebulae)[٢]



● **الشكل ٨,١: (يساراً) المجرّة اللولبية NGC 891 ذات الحافة المسننة. من المرجح أن مجرتنا تبدو إلى حدٍّ كبير مثل هذه المجرّة من نفس نقطة النظر. لاحظ درب الغبار المار على طول القرص. (يميناً) المكونات الرئيسية لمجرة درب التبانة. تقع الشّمس في المُستوى الناصِف للقرص الرقيق، حوالي نصف المسافة الفاصلة بين مركز المجرّة وحافة القرص. تتوزع التجمعات النّجمية الكروية بشكل كروي حول مركز المجرّة وهي الأجزاء الأكثر وضوحاً من الهالة.**

---

(١) أشير إليها في:

Ken Croswell, in *The Alchemy of the Heavens* (Oxford: Oxford University Press, 1995), 13.

(٢) سيأتي ذكر قصة كيفية اكتشاف علماء الفلك لهذا في الفصل التالي. ودفعاً للالتباس، فإننا نستعمل الآن اسم مجرتنا بدلاً من مجرة درب التبانة، ونعطي للمجرات الأخرى أسماء مختلفة. ونطلق على التوهج البقعي الخافت الشبيه بالسحاب الممتد عبر السماء في ليالي الصيف المظلمة، شريط درب التبانة.

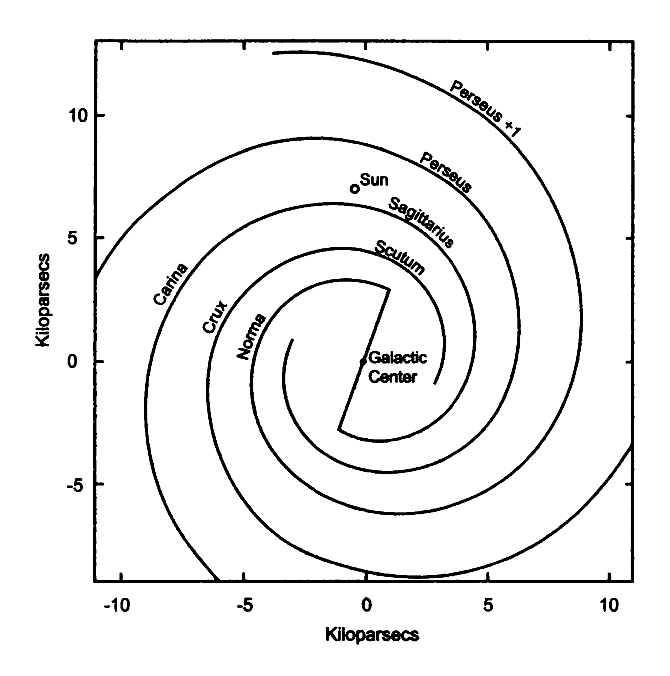
تأتي المجرات، مثل الأنوف، في أشكال وأحجام متعددة. وعلى الرغم من هذا التنوع، فإن علماء الفلك يصنفونها إلى ثلاثة أنواع أساسية: حلزونية، وإهليلجية، غير منتظمة. وهذه الأخيرة تبدو نوعاً جامعاً جميعها. تندرج مجرتنا ضمن المجرات حلزونية الشكل[١] ومعظم نجومها تقع داخل قرصها المسطّح. ويقدر سمكه بواحد في المئة فقط من قطره. نعيش في القرص، على مسافة قريبة جدّاً من منتصف المسافة الفاصلة بين نواة المجرّة وحافتها الظّاهرة. مزيّنة السّماء كدوالب الهواء الدوّارة السّماوية. تشتقّ المجرّات الحلزونية اسمها المعروف من النّمط الحلزوني الجميل الذي شكّلته نجومها الصّغيرة وسديمها المشرق. وتشبه على نحو لافت للنّظر المقطع العرضي لقوقعة البحار. ويعتقد أنّ النّمط الحلزوني ظاهرة من ظواهر «موجة الكثافة»، أشبه بالسّيارات المحتشدة على الطّرق السّريعة المزدحمة. وهذا التّركيز نفسه يسير بسرعة مختلفة عن السّيارات الفردية التي يتألّف منها، لذلك تكشف الصور الملتقطة في أوقات مختلفة، عن سيارات مختلفة، لكن النمط العام يبقى نفسه. نحن نقيم بين ذراع رامي القوس (Sagittarius) وذراع حامل رأس الغول (Perseus) الحلزونيين، بالقرب قليلاً من الأخير.

من بين القاطنين المتعددين بجوار المجرّة الأكثر وضوحاً، هي النجوم التي لا تُعدّ على ما يظهر، يمكن للفلكيين أن يروا العديد من أنواع النجوم في الحارة الشّمسية المباشرة، من القزمة البُنِّية الضعيفة إلى نجوم نوع O ـ البيضاء ـ الزرقاء اللامعة. بحيث يرون النجوم في جميع مراحل حياتها، بدءاً من النجوم التي لم تولد وفي مرحلة ما قبل النسق الأساسي إلى القزمة البيضاء الميتة منذ فترة طويلة، والنجوم النيوترونية، والثقوب السوداء. ويرون نجوماً منعزلة، ثنائية، ثلاثية، ومجرية، أو عناقيد «مفتوحة».

---

(١) نوع درب التبانة كما حدده هابل هو SAB (rs) bc حسب:

G. de Vaucoulers, "Five Crucial Tests of the Cosmic Distance Scale Using the Galaxy as Fundamental Standard," *Proceedings of the Astronomical Society of Australia* 4, no. 4 (1982): 320-327.



● الشكل ٨,٢: مجرة درب التبانة بالنظر من الأعلى. درب التبانة مجرة حلزونية عصوية ضخمة (**barred spiral galaxy**). تظهر الخطوط العريضة الأذرع الحلزونية الرئيسية. نوجد بين ذراعين كبيرين من الأذرع الحلزونية الرئيسية، حامل رأس الغول ورامي القوس. وهذا أحد أفضل الأماكن لمعرفة النجوم، بنية المجرّة، وعلم الكون في وقت واحد. يعادل واحد كيلوبارسيك (**kiloparsec**) حوالي ٣٢٠٠ سنة ضوئية.

يمكن للفلكيين كذلك أن يروا تشكيلة متنوعة للمادة بين النجوم. وتشمل: هذه السّحب الجزيئية العملاقة الشبحية الأكثر ضخامة من الشّمس بملايين المرات؛ والسّحب البينجمية المنتشرة؛ وبقايا السوبرنوفا؛ والرياح الناتجة عن موت النجوم العملاقة الحمراء ومتحدريها؛ أي: السّديم الكوكبي. وفي بعض الأحيان، يمكنهم رؤية سحابة بينجمية وهاجة عندما تسخن النجوم الساطعة باطنها. تسمى مثل هذه السحابة المشعة الفلورية بمنطقة الهيدروجين الثنائي (H II region)؛ لأن غازها الهيدروجيني متأين. وبصورة غير مباشرة، كثيراً ما يرى الفلكيون السّحب البينجمية المسماة بالسّديم العاكس (reflection nebulae) مضاءً من الخارج، عندما ينعكس الضوء من نجم مشع قريب على غباره. عندما يشاهد الفلكيون نجماً وراء سحابة بينجمية، فإنهم يرون طيف ذرات وجزيئات السحابة المتراكبة على طيف النجم كخطوط امتصاص حادة. وتعتبر نجوم O وB أفضل أنواع النجوم لدراسة السّحب البينجمية على هذا

النحو؛ لأنها تتوفر على خطوط امتصاص أوسع من هذه السّحب. هذا يجعل من السهل التمييز بين الخطوط الطيفية التي تشكّلت في الغلاف الجوي للنجم وتلك التي شكّلتها السّحب البينجمية.

يقسم الفلكيون عادة مجرة درب التبانة إلى أربع مناطق، أو «تجمعات»: الهالة، الحوصلة، والقرص الكثيف والقرص الرقيق. تتميز كل منطقة بأعمار وتراكيب وحركات الأجسام بداخلها. تحتوي الهالة على النجوم الهرمة فقيرة المعادن فقط في مدارات إهليلجية حادة (نذكر أن الفلكيين يطلقون اسم «معدن» على كل عنصر أثقل من الهيدروجين والهيليوم). تحتوي الحوصلة ـ المنتفخة بقدر رقة القرص ـ نجوماً تشغل مجالاً واسعاً من حيث المحتوى المعدني؛ إذ تمتد تقريباً من واحد في المئة إلى ثلاثة أضعاف محتوى الشّمس، بخلاف الهالة التي لا تزال بعض النجوم تتشكل فيها إلى يومنا هذا؛ كما أن مدارات نجومها إهليلجية أيضاً، لكنها بشكل أقل من تلك الموجودة في الهالة.

يتداخل القرصان الكثيف والرقيق المسطحان بينهما. يحتوي القرص الرقيق على أكبر تنوع من الأجسام، متضمناً معظم النجوم في درب التبانة، بينما تملأ القرصَ الكثيف الكثير من النجوم الهرمة وقليلة المعادن. في الجوار الشّمسي، لا تشكل النجوم سوى نسبة ضئيلة كأعضاء من القرص الكثيف. يرجح أن السِّماك الرامح (Arcturus)، وهو ألمع نجم في كوكبة العواء، أبرز نجم للقرص السميك في الجوار الشّمسي. حتى داخل القرص الرقيق، تنتشر الأجسام القديمة بشكل أكبر على كلا الجانبين من منتصف مستوى السطع. في حين تعتبر الأجسام «صفرية العمر» الصغيرة جدّاً؛ كالسّحب الجزيئية العملاقة، مناطق الهيدروجين الثنائي ونجوم O وB الأكثر تركيزاً، الموزعة في القرص الرقيق بـ«مرتفعات المجال» (scale heights) ما بين ١٥٠ و٣٠٠ سنة ضوئية من منتصف المستوى. تصل نجوم F وG القزمة إلى مرتفعات تقدر بـ ٦٠٠ إلى ١١٠٠ سنة ضوئية، على التوالي[1]، في حين تبلغ الشّمس أقصى ارتفاع لها

---

(١) نعني بـ«صفرية العمر» الأجسام الصغيرة جدّاً (التي يبلغ عمرها أقل من بضعة ملايين من السنين) =

بمقدار ٢٥٠ سنة ضوئية تقريباً فقط من منتصف المستوى[١] إذا كنت تعتقد أن هذا يبدو كنسق مذهل من الأجسام المجرّية، فأنت على حق. كنا قادرين على كشفها ودراستها كلها من مرتفعنا الملائم جدّاً من منتصف مستوى سطح مجرة درب التبانة.

منظورنا المجرّي:

لم يكن بإمكان المراقبين معاينة هذه المشاهد المنتجة المتنوعة من أي مكان في مجرة درب التبانة. فالشّمس، كما ترى، قريبة جدّاً من منتصف مستوى سطح المجرة. وقد عبَرَتْه قبل ثلاثة إلى خمس مليون سنة فقط. إن الغاز والغبار في منطقتنا منتشر جدّاً مقارنة بالمناطق المحلية الأخرى في المستوى الناصف المحلي. وهذا يعطينا نظرة واضحة عن الأجسام قرب القرص والهالة، كذا المجرات البعيدة. وبما أن الغبار البينجمي مُرَكَّز في منتصف المستوى المجرّي[٢]، فإننا لا نحصل على رؤية واضحة للأجسام خلف شريط درب التبانة، بالنظر من طرف المجرّة إلى داخل القرص. (ولفترة من الزمن سميت كذلك بـ«منطقة التّفادي» (zone of avoidance)؛ لأن المسوح البصرية للسماء لم تظهر المجرات في هذه المنطقة) ولحسن الحظ، فهي لا تمثل سوى ٢٠ في المئة تقريباً من نطاق السماء البصرية[٣]

في الأطوال الموجية البصرية، يمكننا أن نرى بضعة آلاف سنة ضوئية فقط عبر الغبار داخل القرص؛ وعلى المستوى الناصف يحجب الغبار القريب

= بالنسبة لعمر مجرة درب التبانة. ومرتفع المجال هو المسافة التي يجب أن يقطعها الإنسان بعد اجتيازه المستوى الناصف بحيث يقل تركيز الأجسام من نوع معين إلى ٣٧ في المائة من قيمتها في المستوى الناصف.

(١) J. J. Matese et al.,"Periodic Modulation of the Oort Cloud Comet Flux by the Adiabatically Changing Galactic Tide," *Icarus* 116 (1995): 255-268.

(٢) P. C. Frisch, "The Galactic Environment of the Sun," *American Scientist* 88 (2000): 53-54.

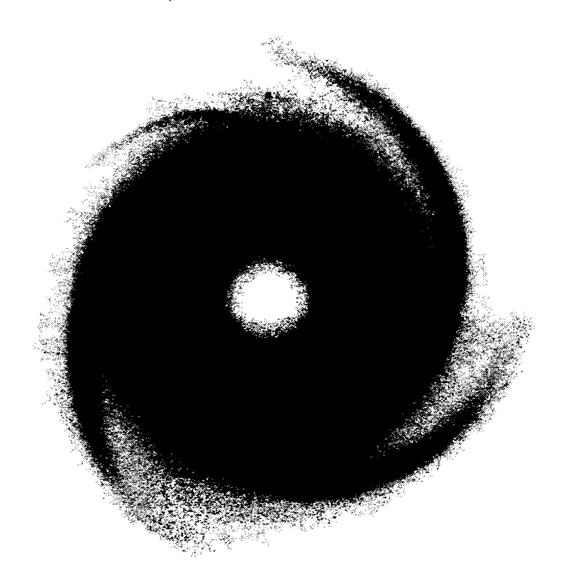
(٣) للاطلاع على مخطط بياني حديث لمنطقة التفادي المرئية في السماء، انظر:
P. A. Woudt and R. C. Kraan-Korteweg, "A Catalogue of Galaxies Behind the Southern Milky Way. II. The Crux and Great Attractor Regions (l~2890 to 3380)," *Astronomy & Astrophysics* 380 (2001): 441-459.
تحجب منطقة التفادي حوالي ١٠ في المئة من السماء في منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف.

بشكل أفضل كل شيء وراءه. وهذا يعني: أن جزءاً صغيراً مهمّاً من المجرّة مخفي بالنسبة لمراقب قريب من منتصف المستوى. تخيل الآن أننا نزيح الشّمس عموديّاً أبعد قليلاً عن منتصف مستوى السطح. ستبدأ الأجزاء البعيدة الخفية للمجرة بالظهور، ولكن بالمقابل سيزيد من نطاق شريط درب التبانة في السماء، بعبارة أخرى، سيزيد من منطقة التفادي. والغبار ليس المشكل الوحيد؛ حيث إن المزيد من النجوم الأمامية يمكن أيضاً أن تدخل في رؤيتنا للأجسام الخلفية البعيدة. وهذه ليست صفقة جيدة. كما سنرى لاحقاً، فإن هذا من شأنه أن يعيق بشدة الاكتشافات حول الكون ككل.

بالتأكيد، وبما أننا قريبون من المستوى الناصف، فإن الغبار يمتص بعض الضوء، وتدخل النجوم الأمامية في مجال رؤيتنا للأجسام الخلفية. يمكننا أن نعلم المزيد عن توزيع الغبار في مجرتنا بمراقبة مجرات أخرى مماثلة. تُظهر بوضوح الصورُ التليسكوبية للمجرات الحلزونية المجاورة في الجزء البصري من الطيف الأذرع الحلزونية النيرة تفصل بينها مناطق قاتمة. يمكن للمرء أن يفترض أن هناك عدداً قليلاً من النجوم بين الأذرع. ولكن في الواقع، يبلغ تركيز النجوم فيها حوالي ٥٪ فقط. تبدو الأذرع أكثر إشراقاً؛ لأنها تضم رياض النجوم، حيث تولد النجوم وتفنى، ينير إشعاعها الكثيف الغبار والغاز المحيط بها، المركزين بشدة في الأذرع. وبالتالي، فبينما يحظى سكان الذراع الحلزونية برؤية نجوم O الضخمة جدّاً والنادرة، فإن هذا الغبار الكثيف والمشرق ـ بشكل عام ـ من شأنه أن يحجب عنهم رؤية الكون المحلي والبعيد.

تعطي الأمثلة القليلة للمجرات المتراكبة القريبة الفلكيين قياساً مباشراً لشفّافية المجرات الحلزونية. ينتج زوجٌ من المجرّات المتراكبة عندما تحجب مجرّة أمامية رؤيتنا لمجرّة خلفية. يمتصّ الغبار في المجرّة الأمامية بعض الضّوء القادم من المجرّات الخلفية صابغاً إياه باللّون الأحمر. تبيّن الدّراسات الحديثة لهذه الأزواج أن المناطق بين الأذرع أكثر شفّافية بكثير من الأذرع الغبارية، كما تظهر أن شفافية المناطق بين الأذرع تتراجع بالاقتراب من مركز مجرة

حلزونية(١) تؤكد هذا خرائط الغبار الخاصة بمجرتنا رغم وجود «ثقب الغبار» بمركز المجرّة(٢) لذلك سوف يضطر المراقبون بالقرب من مركز المجرّة أن يتعاملوا مع المزيد من التشويش من طرف النجوم(٣) (انظر: اللوحة ١٦).



● **الشكل ٨،٣: منظر علوي لمجرة درب التبانة، يبين التوزيع الواسع لكثافة الغبار. تمّ إقصاء النواة والشكل العصوي من الرسم التخطيطي. تمّ تمثيل موقع الشّمس بنقطة سوداء. ومع أن «ثقب» الغبار يظهر في المركز حيث تهيمن الحوصلة، فإن هناك بعض الغبار المتناثر.**

يحظى المراقبون القريبون من مركز المجرّة الكثيف المكتظ، بسماء ليلية أكثر إشراقاً، وهذا وإن كان يسرّ العين إلا أنه قد يحجب أكثر مما يكشف. نحن

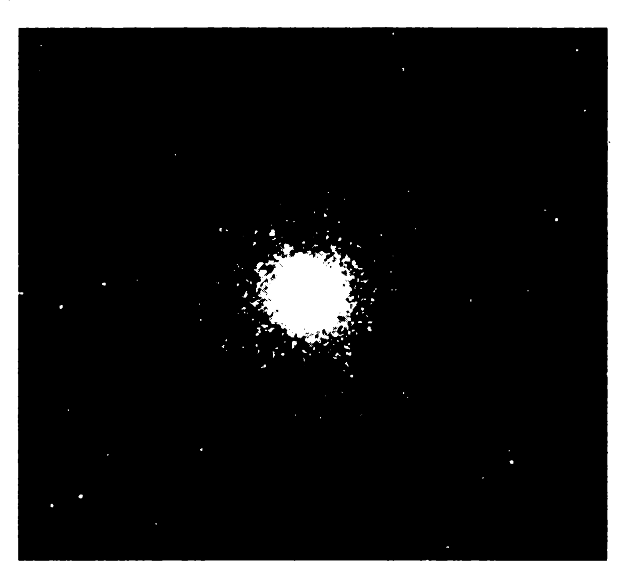
---

(١) للاطلاع على مثال حديث لهذه الدراسة، انظر:
W. C. Keel and R. E. White III, "Seeing Galaxies Through Thick and Thin. IV. The Superimposed Spiral Galaxies of NGC 3314," *Astronomical Journal* 122 (2001): 1369-1382.

(٢) R. Drimmel, A. Cabrera-Lavers, and M. Lopez-Corredoira, "A Three-Dimensional Galactic Extinction Model," *Astronomy & Astrophysics* 409 (2003): 205-215.
على الرغم من وجود نقص الغبار في مركز المجرة، فهو يتوفر على بعض منه بسبب النجوم التي ما زالت تتشكل هناك.

(٣) كما لاحظ عالم الأحياء مايكل دينتون بشكل صحيح. لكن دينتون يدعي على نحو خاطئ أننا نقع في ذراع حلزوني. تشير أفضل الأدلة إلى أننا في منتصف الطريق بين ذراعين حلزونيين رئيسيين. انظر:
J. P. Vallee, "Metastudy of the Spiral Structure of Our Home Galaxy," *Astrophysical Journal* 566 (2002): 261-266.

بعيدون تماماً عن الحوصلة. بالإضافة إلى ذلك، يعبر امتداد الغبار البينجمي المتراكم إلى محور المجرّة هذا؛ حيث يمتص الغبار ضوءه وينثره مختزلاً سطوعه إلى حد كبير. وبالتالي، فإن نواة المجرّة المشرقة خلافاً لذلك غير مرئية للعين المجردة. وحتى مع ذلك، ففي الظلام الحالك، بإمكاننا رؤية الحوصلة في كوكبة رامي القوس كرقعة أكثر إشراقاً من شريط درب التبانة؛ لأن الضوء يتسرب من خلال المناطق الأقل اغبراراً. ولو كنا نقع على ربع مسافتنا الحالية من الحوصلة، ستظهر النواة **أكثر سطوعاً** بعدة ملايين من المرَّات[١] ولن تبدو الحوصلة مشرقة بشكل كامل مثل القمر، ولكنها ستحجب تقريباً نصف السماء وتضيء الباقي.



● **الشكل ٨,٤: عنقود هيركليز المجرّي الضخم، M 13. وهو أحد العناقيد الكروية المعروفة للمراقبين في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. ويحتوي على مئات الآلاف من النجوم قليلة المعدنية تبعد بحوالي ٢٥,٠٠٠ سنة ضوئية عن الأرض. يتلقى المراقبون الذين يعيشون في M 13 على رؤية ضعيفة للكون خارج منزلهم العنقودي. في عام ١٩٧٤، ألهم تعدد نجومه عالم الفلك فرانك دريك (Frank Drake) لنقل رسالة تجاهه، على أمل أن تتلقاه حضارة خارج الأرض (انظر: الفصل ١٢).**

---

(١) لكن جزءاً كبيراً من الحوصلة لن يكون معزّزاً. إلى جانب انخفاض الضوء القياسي مع مقلوب مربع المسافة، كما أن كمية الضوء المغادرة من الغبار البينجمي يجعل الضوء ينخفض مع المسافة انخفاضاً حاداً. ومع ذلك، فنظراً لتناثر الغبار الموجود بيننا وبين أجزاء مختلفة من الحوصلة، من الصعب تقدير مدى ضياء الحوصلة بالضبط كما تظهر من القرص الداخلي.

وقد تصيب علماء الفلك مشاكل أخرى في العناقيد الكروية. وحيث إنهم سيحصلون على مناظر أقرب للقزمة G,K، وM والعمالقة الحمراء، لكنهم لن يروا القزمة O, B, A، أو F، أو السّحب البينجمية[١] سيكون لكل النجوم نفس العمر والمحتوى المعدني. وطبعاً فالكثير من النجوم الأمامية المتناثرة في جميع أرجاء سمائهم من شأنها أن تكشف بشكل كبير مناظر الكون وراء العنقود[٢].

يمكن أن توفر الرؤية من الهالة بعيداً عن العنقود الكروي شريحة رقيقة من السماء خالية تماماً من ضبابية الغبار والغاز والنجوم. وسيكون عندئذ منظر الحوصلة وقرص درب التبانة مذهلاً. مع بنية لولبية يسهل كشفها. ولكن كنزاً بالنسبة للبعض قد يكون قمامة للبعض الآخر. فإن ثمن العيش في الهالة يمكن أن يكون انعدام المناظر القريبة لتنوع كبير من النجوم والسدم، والعناقيد المفتوحة، «التلوث الضوئي» من الحوصلة المضيئة والقرص، التي من شأنها أن تعيق رؤية الأجسام البعيدة. يعتمد معظم ما نعرفه عن الفيزياء الفلكية النّجمية على قدرتنا على دراسة النجوم عن كثب على مجال واسع من الكتل

---

(١) قد يكون الاستثناء الوحيد «المتخلّفون الزُّرْق» النادرة نسبيّاً. ومعظم العناقيد الكروية تتوفر على عدد قليل منهم. ويعتقد أنها تنتج عن اندماج نجمين قزمين من صنف G.

(٢) في:

***Worlds Without End: The Exploration of Planets Known and Unknown*'Reading: Helix Books, 1998), 167**

يصف عالم الكواكب جون لويس (John S. Lewis) المشهد من عنقود كروي في الهالة:

لكن المراقب بالعين المجردة داخل العنقود الكروي سيُشكّل صورة مختلفة نوعاً ما عن محيطه. فهو سيرى ما مجموعه ١٢٠,٠٠٠ نجم في السماء (على افتراض أنه يستطيع أن يرى حتى قدر ظاهري قيمته ٦، وهو تقريباً الحد المتوسط للبشر، الذين يرون ما مجموعه ٣٠٠٠ النجوم في سماء الأرض). توجد منها حوالي ١٦,٠٠٠ نجم يفوق سطوعه ٣ على القدر الظاهري (مقارنة بـ ١٥٢ نجم بالنسبة للأرض)، و٣٧٠٠ نجم يفوق سطوعه ١ (مقابل ١٣ بالنسبة للأرض)، و٣٠٠ نجم يفوق سطوعه ١ ـ (وحده سيريوس يبدو لامعاً بهذا القدر من الأرض). وسيلاحظ المراقب أن جميع النجوم التي يقل قدرها الظاهري عن ٢ ـ تبدو صفراء، وجميع النجوم التي يفوق قدرها الظاهري ١ تبدو برتقالية أو صفراء. ومن بين كل النجوم المرئية، سيكون حوالي ٢٠,٠٠٠ منها نجوماً صفراء من صنف ـ G (حيث سيكون كل نجم في العنقود لامعاً وقريباً بما يكفي ليكون مرئيّاً)، وسيكون ٩٤,٠٠٠ نجوم برتقالية من صنف ـ K (وسيكون هناك ٥٦,٠٠٠ نجماً باهتاً جدّاً وبعيداً فتتعذر رؤيتها)، و٦٧٠٠ فقط ستكون نجوماً حمراء من صنف ـ M.

والأعمار والتراكيب. قبل كل شيء، يمكننا أن نقيس من النّظام الشّمسي تزيحات الكثير من النجوم القريبة وكشف ضياءاتها الحقيقية (سطوعها). وبما أن النجوم منتشرة بشكل كبير في الهالة فإن عدداً قليلاً من القزمة -M وربما بعض النجوم القزمة البيضاء ستكون قريبة بما فيه الكفاية من سكان الهالة الافتراضيين لقياس تزيحات باستخدام تكنولوجيا مشابهة للتي نتوفر عليها، وسيكون اكتشاف قوانين الفيزياء الفلكية النّجمية المهمة؛ كعلاقة السطوع والكتلة، أكثر صعوبة. بما أن النجوم الحديثة تبقى على مقربة من المستوى الناصف، فإن المراقبين في الهالة، بما في ذلك الموجودون في العناقيد الكروية، لن يفهموا إلا قليلاً عن كيفية تشكل النجوم. يقدم المستوى الناصف أفضل نقطة مراقبة لفهم النجوم. وفقط لأننا نتوفر على فهم جيد لفيزياء النجوم يمكننا أن نفسر بشكل صحيح المجرات البعيدة ـ فهي بعد كل شيء، تتكوّن من نفس الأشياء التي نصل إلى رؤيتها عن قرب بجوار مجرتنا المباشر. وباختصار، فإن سكان الهالة سيواجهون صعوبة سبر المجرات البعيدة، والكون ككل.

ومع أننا نفتقر إلى رؤية طائر لدرب التبانة، فإن موقعنا المرتفع لائق للغاية.

أولاً: نحن نعيش بين مجموعة صغيرة من المجرات تدعى بالمجموعة المحلية (the Local Group). وتشكل مجرتا درب التبانة والمرأة المسلسلة ـ Andromeda (مسييه ٣١) أكبر أعضائها، وتليهما المجرّة في كوكبة المثلث (مسييه ٣٣). تُعد كل من M31 وM33 مجرات حلزونية، تقدم لنا الأخيرة منظراً شبه علوي. تعلمنا هذه المجرات الكثير عن البنية العامة لمجرتنا.

ثانياً: نعلم أننا نعيش في مجرة حلزونية لأننا نستطيع تخطيط بنيتها من الداخل. قد يبدو هذا مستحيلاً، مثل محاولة دودة شريطية لوصف المظهر الخارجي لمضيفها. لكن علماء الفلك تعلموا كيفية الاستفادة من الخصائص المتميزة للقرص المسطح الدوار من الغاز والنجوم. يسمح ما يسمى الدوران التفاضلي لعلماء الفلك الراديوي لترجمة السرعات الشعاعية المقاسة لسحب

الغاز البينجمي إلى مسافات من الشّمس(١)

على سبيل المثال: تخيل أنك نملة راكبة على قرص دوار تشاهد نملة أخرى عليه تبعد عنك بمسافة معينة. ومع أن القرص يدور، فإن المسافة بينك وبين النملة الأخرى لا تتغير. وهذا لأن القرص الدوار مثال على دوران جسم صلب: كل جزء من القرص ثابت بالنسبة للجزء الآخر، بغض النظر عما يقوم به القرص من حركة في الفضاء. وقرص درب التبانة لا يدور مثل جسم صلب، بدلاً من ذلك، يدور بشكل مختلف، حتى تكمل النجوم القريبة من المركز مدارها بسرعة أكبر من البعيدة. وبالتالي، فإن المراقبين الذين يعيشون حول نجم في القرص يرون النجوم أو السّحب البينجمية تتحرك في أماكن أخرى من القرص نحوهم أو بعيداً عنهم (محدثة انزياحات نحو الأزرق blueshifts أو انزياحات نحو الأحمر redshifts، على التوالي). يتيح انتظام هذا الدوران للفلكيين تحويل الموضع في السماء والسرعة الشعاعية لسحابة معينة إلى المسافة(٢) بينما لن يتوفر المراقبون في مجرة القرص الدوار على هذه المعلومات الإضافية.

تساعدنا أيضاً المقارنات مع أنواع أخرى من المجرات على فهم منزلنا الخاص في قرص درب التبانة. تفتقر المجرات قليلة التسطح كغير المنتظمة والإهليلجية إلى الديناميكية الدورانية البسيطة للمجرات ذات الأقراص. تحتوي المجرات، التي تتوفر على غاز وغبار أقل على نجوم ذات مجال مداري واسع. معظمها مائل ينحرف للغاية. فبالنسبة للمراقبين داخل هذا النوع من

---

(١) بشكل خاص، استخدم علماء الفلك ترددات راديوية لأول أكسيد الكربون والهيدروجين المحايد لتخطيط جزء كبير من البنية الحلزونية لمجرتنا. المجرة شفافة إلى حد كبير عند الترددات الراديوية.

(٢) للاطلاع على مقدمة للتقنيات المستخدمة لتخطيط البنية الحلزونية لمجرة درب التبانة، انظر:

D. Mihalas and J. Binney, *Galactic Astronomy: Structure and Kinematics* (New York: W. H. Freeman, 1981), 464-568.

نركز هنا على السرعات الشعاعية لا على الحركات الخاصة (التي تخبرنا شيئاً عن السرعة المستعرضة)؛ لأنه يمكن قياس السرعات الشعاعية لمسافات اعتباطية، لكن قياس الحركات الخاصة يصبح أكثر صعوبة تدريجيّاً مع تزايد المسافة. وعلاوة على ذلك فالحركات الخاصة تعد أسهل من حيث القياس بالنسبة للنجوم لا السحب البينجمية التي تفتقر إلى موضع محدد بشكل جيد.

النّظام، لا يوجد قانون يربط مسافة جسم معين بسرعته الشعاعية الملاحظة؛ أي: أنهم سيحتاجون إلى وسائل أخرى لتحديد مسافته. تتوفر المجرات غير المنتظمة، كما يوحي اسمها على ديناميكية شاذة للغاية، وتوزيعات ضبابية من النجوم والسدم. وسيكون من الصعب جدّاً بالنسبة للمراقبين في مثل هذه المجرّة أن يفهموا ما هم محاطون به(١).

تشكل العديد من المجرات أعضاء في عناقيد غنية تحتوي على آلاف من الأعضاء المترابطة بفعل الجاذبية. يمكن للحياة في عنقود غني أن تكون مختلفة عن منزلنا في المجموعة المحلية الأكثر تناثراً. ولكننا سنحصل على رؤية دقيقة للمزيد من المجرات القريبة لكن على حساب رؤيتنا للكون البعيد. وليس من الواضح أن تكون قدرتنا الكاملة على دراسة الكون أسوأ من ذلك، لكن نظراً لمعرفتنا المحدودة بمثل هذه الحالة، فإن الفرضية تبدو معقولة.

باختصار، فالمواقع في الهالة، وفي عنقود كروي، وفي الحوصلة، وفي ذراع حلزونية، في مجرة منعزلة، أو في حشد من المجرات، وفي مجرة غير منتظمة أو إهليلجية ستكون أقل كشفاً من موقعنا. إننا نحتل أفضل مكان للمراقبة في مجرة درب التبانة، التي تعد أفضل أنواع المجرات للاطلاع على النجوم، وبنية المجرّة، والكون البعيد في نفس الوقت. وهذه فروع الفيزياء الفلكية الرئيسية الثلاثة. هل يقدم موقعنا أيضاً، أفضل أنواع المواطن في المجرّة؟ دعونا نرى.

---

(١) صنف إدوين هابل لأول مرة المجرات بحسب مورفولوجيتها (شكلها)، فوصف ذات الشكل الإهليجي بالبدائية وذات الشكل الحلزوني بالحديثة. وقد اعتقد بعض علماء الفلك أن نسق التصنيف هذا الذي قام به هابل شكّل تسلسلاً تطوريّاً. ومع أنهم ما عادوا يعتقدون بذلك، يمكن للمرء أن يجد ما يكفي من الأمثلة للمجرات في الكون المحلي ليشكل تسلسلاً متصلاً تقريباً من المجرات الإهليلجية إلى الحلزونية. تتغير العديد من الميزات المورفولوجية بسلاسة عبر التسلسل. بشكل خاص، تصبح الحوصلة المركزية أقل وضوحاً من القرص المسطح كلما مررنا من المجرات الإهليلجية إلى الحلزونية. وهكذا، فبالنسبة للمجرات الحلزونية كمجرة درب التبانة، يهيمن القرص على الحوصلة، وهذا يعني: أن معظم النجوم في مجرتنا تشارك في الدوران التفاضلي للقرص (بخلاف المدارات الأقل انتظاماً في الحوصلة) وهي قابلة للدراسة من النوع المذكور أعلاه.

منطقة منزلنا الجميل:

تماماً كما أن العديد من المواقع الأخرى في مجرة درب التبانة أقل مناسبة للاكتشاف العلمي، فهي كذلك أقل ترحيباً للحياة. في قصص الخيال العلمي، يزور المسافرون بين النجوم الأماكن الغريبة في مجرة درب التبانة ويلتقون بالغرباء مثيري الاهتمام. تسمي المكان، ويكون هناك كاتب جريء قد وضع مسبقاً حضارة هناك: مركز المجرّة، عنقود كروي، منطقة لتشكل النجوم، نظام نجمي ثنائي، نجم قزم أحمر، ومنطقة مجاورة لنجم نيوتروني أيضاً. ربما يكون لكاتب «دليل المسافر المتطفل إلى المجرّة» دوغلاس آدمز مجموعة مُنَوّعَة من القساة الغرباء، يدخنون السجائر ويلعبون الورق داخل ثقب أسود في مكان ما. وائتماناً على حقوقهم فإن قلة فقط من مؤلفي الخيال العلمي هؤلاء جادون حقّاً حول احتمال وجود عوالمهم الشاسعة والخيالية. ومعظمهم يطلقون العنان لخيالهم. ومنذ وقت ليس ببعيد، بدأ علماء فلك بارزون يفكرون بجدية بشأن وجود كائنات ذكية على سطح القمر والمرّيخ والزّهرة وكوكب المشتري، وحتى الشّمس.

في الوقت الحاضر، وبفضل معرفتنا المتزايدة لهذه البيئات والمتطلبات الصارمة للحياة، يبدو بنَّاؤو القنوات على المرّيخ أو سكان الشّمس غريبين أكثر من كونهم مستقبليين. وضعت مهام كل من أبولو ومارينر وفينيرا وفايكنغ وفويجر حدّاً لهذه التخمينات.

نود فضاءاً طيباً واسعاً كأي شخص آخر. لكن حين يبدأ من يُصنَّف كخبير مختص في الحديث عن وجود حضارات في جميع أنحاء المجرّة كحتمية كونية لا كخيال علمي، فإننا نتشكك كثيراً. ولأن معظم النّظام الشّمسي لا يحقق المتطلبات الصارمة للحياة التكنولوجية أو المعقّدة، فإن نفس الأمر يبدو صحيحاً بالنسبة لمعظم مجرتنا.

وكالنطاق حول النّجمي الصّالح للحياة في نظامنا الشّمسي، نجد كذلك نطاقاً مجريّاً صالحاً للحياة (*Galactic* Habitable Zone-GHZ). (انظر: اللوحة ١٧). وأول شروطها هو الحفاظ على مياه سائلة على سطح كوكب يشبه

الأرض. ولكن الأمر يتعلق أيضاً بتشكل الكواكب الشبيهة بالأرض واستمرارية الحياة الهوائية الشبيهة بالحيوانية على المدى الطويل[1] تتعين حدود النطاق المجري الصالح للحياة بالوحدات البنائية الكوكبية المطلوبة والتهديدات للحياة المعقّدة في الإطار المجرّي. دعونا نناقش كلّاً على حدة.

من الرماد إلى الرماد، من التراب إلى التراب:

إن الكيفية التي يتمّ بها تجميع العناصر في مكان نسميه الأرض قد كشف عنها علم الكونيات الحديث، والتطور الكيميائي المجرّي، والفيزياء الفلكية النّجمية، وعلم الكواكب. أنتج الانفجار العظيم الهيدروجين والهيليوم والقليل من أشياء أخرى. خلال الـ١٣ مليار سنة، تمّ طهو هذا الخليط على مدى أجيال عديدة من النجوم وإعادة تدويره. بدءاً من انصهار ذرات الهيدروجين، تصبح النجوم الضخمة ثقيلة النوى في عمق بواطنها الساخنة، فتبني على رماد المرحلة السابقة وتشكل بنية شبيهة ببنية قشرة البصل. وكانفجار السوبرنوفا تعيد النجوم الضخمة في نهاية المطاف الذرات إلى المجرات. ولكنها تعيدها بفائدة من خلال إنتاج العناصر الثقيلة التي لم توجد من قبل.

وكنتيجة، ازداد المحتوى المعدني لمجرتنا ـ الذي هو «معدنيتها» أي: وفرة العناصر الثقيلة أو «المعادن» المتعلقة بالهيدروجين ـ تدريجيّاً إلى قيمته الحالية، وهي قريبة من القيمة الخاصة بالشّمس. اليوم، تشكل المعادن ما يقارب اثنين في المئة من كتلة الغاز والغبار في القرص في مجرة درب التبانة. وحرفيّاً، يسري غبار النجوم في أجسامنا.

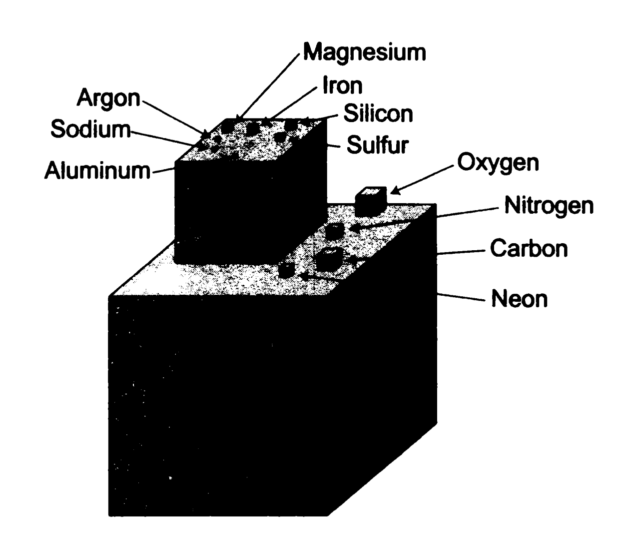
---

(١) تستند المعلومات في هذا الباب إلى الورقة التالية:

G. Gonzalez, D. Brownlee, and P. D. Ward, "The Galactic Habitable Zone: Galactic Chemical Evolution," *Icarus* 152 (2001), 185-200.

ويرد ملخص أقل تقنية في:

G. Gonzalez, D. Brownlee, and P. D. Ward, "The Galactic Habitable Zone," *Scientific American* (October 2001): 60-67.



● **الشكل ٨,٥: النسبة النسبية (حسب عدد) للعناصر الأكثر وفرة في الشّمس. الهيدروجين، الهيليوم، تهيمن العناصر الموضوعة مباشرة على مكعب الهيدروجين على تركيب النجوم والكواكب الشبيهة بالمشتري. تتكوّن معظم الكواكب الأرضية من الأوكسجين والعناصر الأخرى على مكعب الهيليوم (دون تضمنه).**

يعتبر انهيار السّحب أحد الخطوات الأقل فهماً لتشكل النجوم والكواكب. يجب أن تتقلص سحابة بينجمية بدرجات مغناطيسية لتشكل نجوماً بكواكبها. عند التقلص، ستُسخن سحابة كجزء من الطاقة الجاذبية المتحولة إلى الطاقة الحرارية لحركات ذراتها وجزيئاتها. تزيد درجة الحرارة المرتفعة من دعم ضغط السحابة. ثم ستتوقّف عن التّقلّص إن لم يكن بإمكانها أن تبرد عن طريق إشعاع الحرارة في أجزاء الأشعة تحت الحمراء البعيدة للطيف، بما أنه يمكن لفوتونات الأشعة تحت الحمراء أن تفر من سحابة كثيفة. تعتمد مدى قابلية السحابة المتقلصة لأن تبرد على كيفية تكونها. يفتقر الهيدروجين والهيليوم إلى انبعاثات قوية جدّاً في الأشعّة تحت الحمراء؛ لذلك فإنّ سحابة بدون معادن يجب أن تكون ضخمة إلى حدٍّ ما بالنّسبة لجاذبيتها الخاصّة للتّغلّب على الضّغط الدّاخلي. عندما تكون المعادن موجودة، فإنّ الكربون والأوكسجين هي المبرّدات الرّئيسية (عن طريق الكربون المتأيّن، أوّل أكسيد الكربون، والأوكسجين المحايد) وبالتّالي، فإنّ السّحابة الغنيّة بالمعادن أكثر عرضة لأن تنقسم إلى سحب صغيرة. لتشكيل المزيد من النّجوم منخفضة

الكتلة[1] وبما أن النجوم الضخمة توفر مواطن غير مضيفة للحياة، وبدون مبالغة، يتبع ذلك أن وفرة المعادن قد يكون عنصراً هامّاً في الصلاحية المستقبلية للحياة الخاصة بالنّظام[2] وتحديداً، فإن أصدقاءنا القدماء الكربون والأوكسجين هم الذين يلعبون دوراً مفتاحيّاً في تكون النجوم، وتعمل في الوقت نفسه كأفضل مسابير فيما يخص بنية الذراع الحلزونية للمجرة[3]

والكواكب الغازية العملاقة ككوكب المشتري، من أجل فائدتها البصرية، هي في معظمها هيدروجين وهيليوم. في الوقت الحاضر، يسمى النموذج الأكثر تداولاً لتشكل عملاق غازي بتنامي عدم الاستقرار النواة (core instability accretion)[4] وفقاً لهذا النموذج، يجب أن يكون العملاق الغازي أولاً نواة صخرية لا تقل كتلتها عن عشرة إلى خمس عشرة مرة كتلة الأرض. ثم يمكن لجاذبية الكوكب المتزايدة أن تجذب وتحتفظ بالهيدروجين الهائل والهيليوم في القرص الكوكبي الأولي. يمكن لهذا أن يؤدي إلى نمو سريع للكوكب. وبالتالي، يتطلب الأمر حدّاً أدنى من المعادن لتتشكل النواة الصخرية بسرعة قبل أن يتمّ فقد معظم الغاز من النّظام (على نطاق زمني

---

(١) يسمى التوزيع النسبي لكتل النجوم التي تتشكل في عنقود معين بوظيفة الكتلة الأولية. هناك بعض الأدلة التجريبية التي تشير إلى أن وظيفة الكتلة الأولية تعتمد على المعدنية من حيث إن ارتفاع المعدنية يؤدي نسبيّاً إلى المزيد من النجوم منخفضة الكتلة. ولكن القضية غير محلولة. انظر:

P. Kroupa, "On the Variation of the Initial Mass Function," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 322 (2001), 2310246. P. Kroupa, "The Initial Mass Function of Stars: Evidence for Uniformity in Variable Systems," *Science* 295 (2002), 82-91.

(٢) J. Bally, "Hazards to Planet Formation," *American Astronomical Society Meeting* 198 Abstract #18.01 (2001).

ومن الأمثلة على المخاطر التي تهدد تشكل الكوكب بشكل خاص، الصور التفصيلية لسديم أوريون التي التقطها مرصد هابل الفضائي تُظهر الأقراص النجمية وهي تتبخر بفعل الأشعة فوق البنفسجية الصادرة من النجوم الضخمة القريبة.

(٣) وهي تقوم بذلك على شكل أول أكسيد الكربون. يعتبر أول أكسيد الكربون أفضل من الهيدروجين في تقفّي الغاز الكثيف نسبيّاً، الذي يشمل كذلك الأقراص الغازية التي تُطوّق الأنظمة الكوكبية المتشكلة.

(٤) انظر:

J. B. Pollack et al., "Formation of the Giant Planets by Concurrent Accretion of Solids and Gas," *Icarus* 124 (1996), 62-85.

يقارب عشرة ملايين سنة). ومع أنه لا يزال لدينا الكثير لنتعلمه، تساعدنا الاكتشافات الأخيرة للكواكب خارج نظامنا الشّمسي لفهم قيمة عتبة المعدنية هذه[١] كما أن الفلكيين لا يجدون كواكب عملاقة حول نجوم مع أقل من أربعين في المئة تقريباً من المحتوى المعدني للشمس[٢]

---

(١) للاطلاع على مراجعة لهذا الموضوع، انظر:
G. Gonzalez, "Stars, Planets, and Metals," *Reviews of Modern Physics* 75 (2003), 101-120.
تسمح هذه العتبة الدنيا للمعدنية بثلاثة تفسيرات ممكنة: **أولاً**: إذا كان نموذج تنامي عدم استقرار النواة صحيحاً، فإن بناء الكواكب العملاقة قد يتطلب حدّاً أدنى من المعدنية الأولية. سندعو هذا بالتفسير «البدائي». **ثانياً**: قد تميل الكواكب إلى الهجرة إلى نظام غني مبدئيّاً بالمعادن، مما يجعل الكشف عن كوكب عملاق أسهل بطريقة دوبلر؛ وسندعو هذا التفسير بـ«الهجرة». **ثالثاً**: يمكن أن تقع بعض الكواكب ضمن نطاق نجومها المضيفة، مما يزيد المعادن في غلافها الجوي. وسنسمي هذا بتفسير «الإثراء الذاتي».
يمكن أن تؤدي هجرة الكواكب إلى تنامي الكويكبات الصغرية والكواكب من طرف نجم المضيف، وربما تعزز أيضاً معدنية سطحها. ولئن كانت أهمية تأثير الإثراء الذاتي مدار نقاش، فمن غير المرجح أنها تمثل كليّاً معدل المعدنية المرتفع للنجوم التي تتوفر على كواكب. فعلى سبيل المثال، تمتلك بعض النجوم التي تتوفر على الكواكب مناطقَ حمل حراري عميقة جدّاً ومع ذلك تتّسم بمعدنيات عالية جدّاً. وستتطلب زيادة المعادن السطحية من هذه النجوم ـ ولو بقدر متوسط ـ تنامي كمية غير معقولة من المواد الكوكبية. ومع ذلك، توجد بعض الأدلة على الإثراء الذاتي عند النجوم ذات الكواكب.
في A. C. Quillen, and M. Holman, "Production of Star-Grazing and Star-Impacting Planetesimals via Orbital Migration of Extrasolar Planets," *Astronomical Journal* 119 (2000), 397-402.
ينظر المؤلفون في هجرة الكواكب الغازية العملاقة مع تناثر الكويكبات الصغرية الصخرية. وبما أن هذه الأخيرة تتكون من المعادن، فإن عددها المتشكل في نظام يعتمد على معدنيتها الأولية. وللاطلاع على مراجعة مختصرة للآليات المختلفة التي تم الاحتجاج بها لصالح أشباه المشتري الحارة، انظر:
R. Malhotra, "Migrating Planets," *Scientific American*, (September 1999): 56-63.

(٢) على سبيل المثال، حاول مؤخراً فريق من علماء الفلك بقيادة رونالد جيليلاند من معهد علوم تلسكوب الفضاء الكشف عن تغيرات الضوء في العنقود الكروي ٤٧ الطوقان (٤٧ Tuc) الناجمة عن انتقالات الكواكب العملاقة التي تدور حول نجومها. إذا حدثت الكواكب العملاقة حول نجوم ٤٧ الطوقان بنفس المعدل كما بجوار الشمس، فينبغي إذن أن يكشفوا عن سبعة عشر كوكباً تقريباً. لكنهم لم يجدوا شيئاً. ربما تميل النجوم في العنقود الكروي الكثيف جدّاً إلى أن تحدث لقاءات قريبة مع النجوم الأخرى، فتشوش كل من الأنظمة الكوكبية القائمة والنامية. ويمكن أن يؤدي كل تشويش من هذا القبيل إلى تدمير أو إخراج كوكب من النظام في نهاية المطاف. أو ربما لأن وفرة المعادن في نجوم ٤٧ الطوقان لا تشكل سوى حوالي ٢٥ في المائة مقارنة بالشمس، تحت أكثر النجوم ضعيفة المعادن التي يعرف أن لها كواكب. وهذا يميل إلى دعم التفسير الأساسي لتكون الكواكب العملاقة. انظر:
R. L. Gilliland et al., "A Lack of Planets in 47 Tucanae from an HST Search," *Astrophysical Journal Letters* 545 (2000), 47-51. =

وفي المقابل؛ فإن الكثير من المعادن في الخليط يمكن أن يخلق مجموعة مختلفة من المشاكل. كلما زادت الحصة الأولية للمعادن في سحابة ميلاد الكويكبات الصغرية (planetesimals) ـ وهي كتل سابقة بحجم الكويكبات ـ زاد عددها وعدد الكواكب المتشكلة في النّظام التي ستُعقّد المدارات إلى حدٍّ كبير. في نسخة كوكبية للعبة الكرة والدبابيس، يمكن للكواكب العملاقة أن تهاجر إلى الداخل عن طريق تشتيت الأجسام الصغيرة المتعددة. وإذا كانت وفرة المعادن ترفع من فرص تشكل المزيد من الكواكب العملاقة، فإنه سيكون من المحتمل أيضاً أن تضطرب فيما بينها وتزعزع استقرار النّظام، حتى أنها قد تطرح الكواكب الأرضية نحو النجم المضيف أو تطردها من النّظام تماماً[(١)] ولئن كانت الكواكب العملاقة قليلة الهجرة، فإن القصف المتكرر من الكويكبات المتبقية والمذنبات المتعددة ـ التي ستكون كثيرة جدّاً في نظام غني بالمعادن ـ سيهدد الحياة الكوكبية.

وعلى خلاف الكواكب الغازية العملاقة، تحتوي الكواكب الأرضية على القليل جدّاً من الهيدروجين والهيليوم؛ لذا ليس من الضروري أن تصل إلى كتلة حَدِّيّة لتنمو حتى حالتها النهائية. يبدو أن الكواكب الأرضية في نظامنا الشّمسي قد تشكلت في المناطق الساخنة الداخلية حيث لا يمكن للهيدروجين والهيليوم، وغيرهما من الغازات الوافرة أن تتكاثف. أما الكواكب الأرضية ذات الحجم الأرضي فهي أقل حظّاً لتتشكل في نظام كثيف من سحابة قليلة المعادن، مثل العنقود الكروي[(٢)] وبالتأكيد في الحالة القصوى لسحابة دون معادن؛ حيث

= يحدث الانتقال عندما يمر كوكب أمام نجم بالنظر إليه من الأرض.

(١) تبين دراسات ديناميات الأنظمة الكوكبية المعروفة خارج النظام الشمسي أن انحرافات كواكبها العالية تقلل بالفعل من احتمال بقاء الكواكب الأرضية في مدارات دائرية داخل نطاقاتها الصالحة للحياة. انظر: K. Menou and S. Tabachnik, "Dynamical Habitability of Known Extrasolar Planetary Systems," *Astrophysical Journal* 583 (2003), 473-488. M. Noble, Z. E. Musielak, and M. Cuntz, "Orbital Stability of Terrestrial Planets Inside the Habitable Zones of Extrasolar Planetary Systems," *Astrophysical Journal* 572 (2002) 1024- 1030.

(٢) هناك طريقة محتملة لتشكل الأجسام الكوكبية الجماعية في نظام ضعيف المعادن مبدئيّاً. تتعلق بتكثيف الغاز الغني بالمعادن من قذائف مستعر أعظم. يبدو أن المرافق النجمي ينبغي أن يكون حاضراً قبل حدث المستعر الأعظم. وقد تم الاستناد إلى هذه العملية لصالح الكواكب الموجودة حول النجم النباض PSR 1257+12. انظر: =

لا يمكن حتى للصخور بحجم قبضة يد أن تتشكل، مما يجعل الحجم الصحيح للكواكب الأرضية أمراً مستحيلاً. من ناحية أخرى، ومع جرد أوّلي عالي الدّقّة للمعادن فمن المرجّح أنّه سينتهي بك المطاف مع نظام مزدحم، فوضوي مع عصبة من الكواكب الكبيرة تُهيّج بعضها البعض باستمرار في حالة غير مضيفة للغاية. ولأنّ عمليات مختلفة أنتجت الكواكب الأرضية والكواكب الغازية العملاقة، فإنّه من المرجّح أنّ الاختلافات في المحتوى المعدني الأولي قد أدّت إلى نهايات مختلفة[(١)] وبما أنه يبدو الآن أنّك بحاجة إلى الكواكب الأرضية والعملاقة الغازية لتشكيل نظام صالح للحياة، فإنّ المحتوى المعدني الأمثل لبناء نظام كوكبي صالح للحياة يبدو ضيّقاً جدّاً[(٢)] تذكر أن النجوم الأقل معدنية من الشّمس نسبيّاً، تتوفر على كواكب عملاقة. لنفترض أن كمية العناصر الثقيلة اللازمة لتشكل الكتلة الدنيا لكوكب أرضي صالح للحياة أقل قليلاً فقط من الكمية اللازمة للكواكب العملاقة التي لا تختل مداراتها؛ إذن فقلة من الأنظمة سيكون لها ما يكفي من المعادن لتشكل كوكباً أرضيّاً بحجم الأرض وكوكباً[(٣)] غازياً

= M. Konacki and A. Wolszczan, "Masses and Orbital Inclinations of Planets in the PSR B1257 + 12 System," *Astrophysical Journal* 591 (2003) L147-L150.

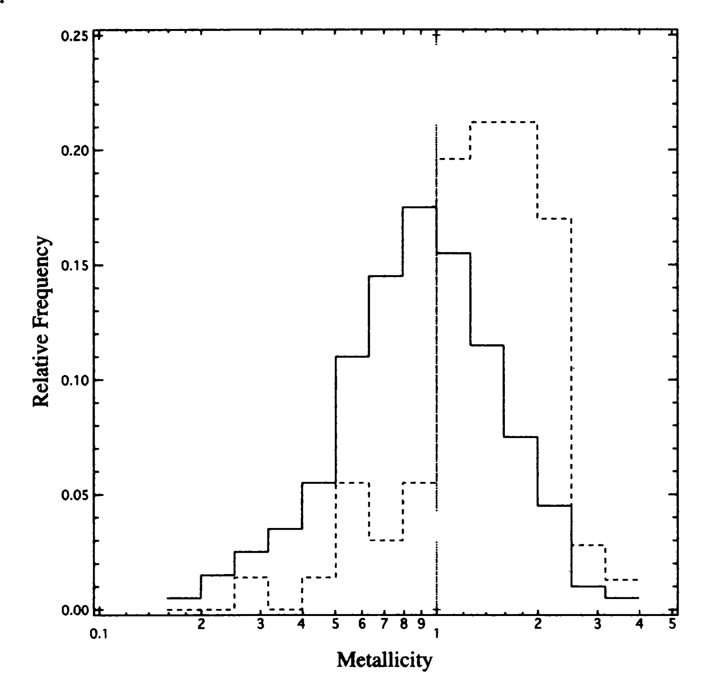
وليس من الواضح أن هذه الأجسام منخفضة الكتلة، يجب أن تسمى كواكب، نظراً لطبيعتها المختلفة جدّاً من الكواكب في نظامنا الشمسي. وعلى أية حال، فإن هذه الأنظمة ليست صالحة للحياة. ولذلك لن نواصل اعتبارها.

(١) حاليّاً، ليس بيد علماء الفلك أية أدلة رصدية على الكواكب الأرضية حول النجوم الأخرى، لذلك فهم لا يستطيعون القول بشكل محدد كيف يعتمد تشكلها على المعدنية الأولية. لكن إذا كان نموذج تنامي عدم الاستقرار النواة الوصفَ الصحيح لتشكل الكواكب العملاقة، فهذا يعني: أن تشكل الكوكب الأرضي سيعتمد أيضاً بقوة على المعدنية. يجب أن تتشكل نواة جليدية صلبة قبل أن ينمو الكوكب العملاق بتراكم الهيدروجين والهيليوم.

(٢) من الناحية النظرية، يمكن أن يتشكل كوكب بكتلة في نظام يتوفر على معدنية أولية أصغر من الشمس. ومع ذلك، من الممكن أن يتشكل حيث يمكن أن يتكاثف الماء، خارج ما يسمى بـ«حَدّ الصقيع». في نظامنا الشمسي، يوجد هذا المكان في المنطقة الخارجية لحزام الكويكبات. سيكون لمثل هذا الكوكب وفرة عالية بكثير من المواد المتطايرة، فيشبه الغازية العملاقة. وغني عن البيان أن مثل هذا الكوكب لن يكون صالحاً للحياة، حتى إذا كان عليه أن يهاجر إلى المنطقة الصالحة للحياة.

(٣) بحَث تشارلز لينويفر من جامعة نيو ساوث ويلز، أستراليا، بعض الطرق التي قد يعتمد بها تكوُّن الكواكب الأرضية وهجرة الكواكب العملاقة على المعدنية. =

عملاقاً واحداً على الأقل بكتلة مضبوطة ومدار مضبوط للقيام بمهمته في صلاحية الحياة بالنسبة للكوكب الأرضي. ومن المرجح أن تشكّل الكويكبات والمذنبات يعتمد على المحتوى المعدني الأولي بشكل مختلف. فهي بحاجة إما أن تكون شائعة جدّاً أو غير شائعة جدّاً، مما يضيّق أكثر مجال صلاحية الحياة في النّظام.



● **الشكل ٨،٦: توزيعات المعدنية لواحد وسبعين نجماً ذوي كواكب عملاقة تمّ الكشف عنها بواسطة طريقة دوبلر (متقطع) وقرابة ألف نجم شبيه بالشّمس تمّ اختيارها عشوائيّاً (متصل). يزداد الحدوث النسبي للنجوم ذات الكواكب العملاقة زيادة حادة بالنسبة لقيم المعادن الأكبر من قيم الشّمس (خط منقط عمودي). (الارتفاعات المماثلة للتوزيعين لا تستلزم أن النجوم ذات الكواكب العملاقة شائعة بقدر النجوم المختارة عشوائيّاً؛ بل تمّ ضبطها على ارتفاعات مماثلة بغرض الوضوح).**

= "An Estimate of the Age Distribution of Terrestrial Planets in the Universe: Quantifying Metallicity as a Selection Effect," *Icarus* 151 (2001), 307-313.

وهو يفترض أن كتلة كوكب أرضي تتناسب خطيّاً مع معدنية سحابة ولادته وأن احتمال هجرة الكوكب العملاق يرتفع بشكل حاد مع زيادة المعدنية، ليصل مائة في المائة إلى قيم تفوق ثلاث مرات معدنية الشمس. ولئن كانت حسابات لينويفر مبدئية إلى حدٍّ ما، فهي على الأرجح ليست بعيدة عن الحقيقة. وبما أن الكوكب العملاق المهاجر يهدد أية كواكب أرضية في طريقه، فإن الأنظمة الغنية بالمعادن ستكون بعيدة عن الموائل المثلى. مثلنا، يخلص لينويفر إلى أن المعدنية القريبة من قيمة الشمس قد تكون المثلى لإنتاج الكواكب الأرضية بكتلة الأرض في مدارات مستقرة.

كيف تتغير وفرة العناصر الثقيلة مع الزمان والمكان في مجرة درب التبانة؟ تُظهر مجموعة متنوعة من الملاحظات أن المحتوى المعدني للقرص ينخفض مع بعد المسافة عن مركز المجرّة[١] ويبدو أن المجرات المماثلة لمجراتنا لها «تدرجات إشعاعية للمعدنية» (radial metallicity gradients). ومع أنه ليس الاتجاه الوحيد للعناصر الثقيلة في القرص[٢]، فإن هذا هو الأهم لأهدافنا[٣] يتميز المحتوى المعدني للنجوم جوار الشّمس بالتنوع إلى حدٍّ ما، ومع ذلك فهو يتغير من ثلث إلى ثلاث مرات تقريباً من محتوى الشّمس[٤]

---

(١) في موقع الشمس، يقدر تدرّج (gradient) المعدنية بحوالي ٥ في المائة لكل ١٠٠٠ سنة ضوئية (التدرّج خطي تقريباً مع نصف القطر على المقياس اللوغاريتمي للوفرة، حوالي ٠,٠٧ ـ «ديكس» (dex) لكل فرسخ فلكي). يقيس علماء الفلك تدرّج المعدنية في القرص باستخدام المميزات الطيفية في النجوم الشمسية، ونجوم B، ونجوم العناقيد المفتوحة، والسديم المتأين من طرف نجوم O وB (مناطق H II)، والسدم الكوكبية. وقد تقاربت الدراسات التي تستخدم مؤشرات مختلفة للمعدنية لتعطي نفس الجواب إلى حدٍّ كبير خلال السنوات الخمس الماضية فقط أو نحو ذلك. وبما أن مناطق H II مضيئة جدّاً، فقد تمكن علماء الفلك من استخدامها لقياس التدرّج في نحو عشرين مجرة مجاورة حتى الآن. انظر، على سبيل المثال:

S. J. Smartt et al., "Chemical Abundances in the Inner 5 kpc of the Galactic Disk," *Astronomy & Astrophysics* 367 (2001), 86-105. L. Chen, J. L. Hou, and J. J. Wang, "On the Galactic Disk Metallicity Distribution from Open Clusters. I. New Catalogues and Abundance Gradient," *Astronomical Journal* 125 (2003) 1397-1406.

(٢) يؤدي التداخل بين الأقراص الرقيقة والسميكة إلى انخفاض المعدنية مع زيادة المسافة العمودية من المستوى الناصف. وهذا نتيجة انتشار مدارات النجوم بعيداً عن المستوى الناصف مع تقدم عمرها.

(٣) يمكن للمرء أن يعترض أنه بما أن محتوى الهيدروجين والهيليوم يتغير بعدة قيم أسية بين الكواكب في النظام الشمسي، ربما يفقد تغير المعدنية الأولية «في الضجيج» بالعشرات في المئة في القرص المجري. وهذا الاعتراض لا يتعلق بشكل وثيق بهذه المناقشة. تقع الكواكب في النظام الشمسي ضمن فئتين متمايزتين جدّاً وهما: الكواكب الأرضية والكواكب الغازية العملاقة. تسكن الكواكب الأرضية المنطقة الداخلية للنظام الشمسي وتمتلك القليل جدّاً من الهيدروجين والهيليوم. ومن المرجح أنها تكونت بالقرب من مواقعها الحالية. في حين تتكوّن الكواكب العملاقة الغازية التي تسكن النظام الشمسي الخارجي في غالبها من الهيدروجين والهيليوم. ليس هناك تدرج سلس لمحتوى الهيدروجين بين الكواكب. والذي يهم في السياق الحالي هو تشكل كوكب أرضي بالكتلة المناسبة في CHZ.

(٤) جزء صغير فقط من هذا الانتشار متأصل في النجوم التي تشكلت على مسافة معينة من مركز المجرة في وقت معين. وقد أمالت الأجسام الأخرى مدارات العديد من النجوم من أماكن ولادتها الأصلية على مسافات مختلفة من مركز المجرة. ويسمى هذا الانحراف التجاذبي بالانتشار الديناميكي المداري. وهو يشبه انحراف مسار مسبار كوكبي في لقاء قريب له مع كوكب. انظر: =

وبانتقالنا من المركز إلى حافة المجرّة، تنخفض كثافة الغاز فينخفض معها معدل تشكُّل النجوم. وبما أن النجوم هي مصدر معظم العناصر الثقيلة في المجرّة، فهذا يعني أن المعدنية تنخفض كلما انتقلنا من المركز إلى الحافة. ففي وقت مبكِّر من تاريخ درب التبانة، بنيت المعادن بسرعة في المجرّة الداخلية في الوقت الذي ارتفع فيه مستوى تشكّل النجوم ليصل إلى ذروته بعد حوالي مليارين إلى ٣ مليارات سنة فقط. ومنذ ذلك الوقت، أخذ معدل تشكل النجوم في الهبوط، ثم توقف بفعل فترات النشاط المتقطعة. واليوم لا تزال المعدنية في الحارة الشمسية آخذة في الارتفاع[(١)]، لكن من المتوقع أن ترتفع ببطء في المستقبل مع تناقص الغاز النقي المزوِّد. كل هذا يعني: أنه منذ زمن بعيد؛ أي: منطقة في مجرة درب التبانة كانت قليلة المعادن مما هي عليه الآن. لوَجْد ما يكفي من العناصر الثقيلة قبل أن يبدأ نظامنا بالتشكّل بمليارات السنين، ينبغي عليك النظر إلى المناطق الداخلية لمجرتنا (انظر: أدناه). ولكن مجرتنا الداخلية جوار متين ومزدحم، مع شيء من الصبر على الكواكب التي تحاول أن تحسن من نفسها مع حياة حتى لو كانت بدائية قليلاً.

إن توزيع العناصر الكيميائية له تأثير على الحياة أيضاً. الأرض هي في معظمها حديد بالنظر إلى الكتلة، ويليه الأوكسجين والسليكون والماغنيسيوم من حيث الوفرة. بشكل مثير للدهشة، فالعناصر الوافرة في النطاق الكوني

= G. Gonzalez, "Are Stars with Planets Anomalous?" *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 308 (1999), 447-458.

تولد النجوم في القرص الرقيق في مدارات دائرية تقريباً. ومع مرور الوقت، تشوه الجاذبية من السحب الجزيئية العملاقة، والأذرع الحلزونية، والنجوم الأخرى مداراتها تدريجياً عن هذه الحالة الأولية. (كما سنناقش أدناه، قد يؤدي هذا إلى مشاكل للحياة على الكوكب). وتشير ملاحظات النجوم صغيرة العمر أن انتشار المعدنية الجوهري للنجوم المولودة في المنطقة المجاورة للشمس يقدر بحوالي ١٥ إلى ٢٠ في المائة.

E. Gaidos and G. Gonzalez, "Stellar Atmospheres of Nearby Young Solar Analogs," *New Astronomy* 7 (2002), 211-226.

(١) وهذا يعني: أن معدنيته تتزايد بنحو ٨ في المائة كل بليون سنة.

والمتطايرة الضرورية للحياة ـ الهيدروجين والكربون والنيتروجين ـ مجرد عناصر ضئيلة المصدر في الأرض الضخمة. وبطبيعة الحال فإن ما يهم حقّاً هو وفرتها في القشرة، حيث تنتشر بشكل أكبر.

يعتقد علماء الفلك أن الكويكبات والمذنبات نقلت معظم العناصر المتطايرة الضرورية للحياة إلى الأرض في وقت متأخر من تشكلها حيث تم دمجها في النهاية في قشرتها؛ لذا فإن الكوكب الذي يتشكّل مثل الأرض يجب أن يكون مدعماً بالعناصر المتطايرة، ولكن الكمية أمر مفصلي. إن العناصر الصحيحة لا تتشكّل دائماً بنفس النسبة في جميع الأمكنة والأزمنة في درب التبانة[١]

لمعرفة المزيد عن التطور الكيميائي المجرّي، يجب علينا أن نفهم كيف تم إنتاج العناصر الكيميائية الفردية. أنتجت العناصر الأكثر وفرة في الأرض أساساً في المستعرات العظمى. وهناك نوعين أساسيين، مستعر أعظم من نوع Ia (Type Ia supernovae) ومستعر أعظم من نوع II (Type II supernovae) واللذان يوفران معاً مختلف العناصر اللازمة لبناء كوكب صالح للحياة[٢] ينتج المستعر الأعظم ٢ حينما ينهار فجأة قلب نجم ضخم، فيحرر كميات هائلة من الطاقة التي تفجر طبقاتها الخارجية. فيتم تركيب العديد من العناصر في الدوامة الناشئة. والعناصر الأخرى التي أنتجت في وقت سابق (فيما يطلق عليه بطبقات البصل). يتم طردها أيضاً[٣]

---

(١) كما لاحظنا في الفصل السابع فيما يتعلق بـCHZ، يحدد تركيز الكبريت والبوتاسيوم ـ ٤٠ في نواة الأرض، جزئيّاً، الجيوفيزياء الخاصة بها. ينبغي أن يكون لتغير نسبة كتلة النواة الحديدية إلى الرداء تأثيرٌ عميقٌ على جيوفيزياء الكوكب؛ تعتمد هذه النسبة على نسبة الحديد إلى السيليكون زائد الماغنيسيوم. يتكاثف الحديد، والسيليكون، والماغنيسيوم من غاز التبريد في درجات حرارة مماثلة. وهكذا، فإن الكواكب التي تشكلت في مواقع مختلفة في نظام معين يجب أن تتوفر مبدئيّاً على معطيات مماثلة من هذه العناصر. لكن الاصطدام العملاق يمكن أن يغير نسبة كتلة النواة إلى الرداء. على سبيل المثال: يعتقد أن كتلة النواة الكبيرة لعطارد هي نتيجة لتصادم عملاق أزال جزءاً من الرداء. وبالمثل، فإن الاصطدام العملاق الذي شكل القمر والمضاف إلى نواة الأرض. تؤثر مثل هذه الاصطدامات على المخزون المتطاير للكوكب.

(٢) في هذا الكتاب سنتجاهل الفروق الدقيقة بين الفئتين الأساسيتين للمستعرات العظمى.

(٣) من بين العناصر الأكثر وفرة الأوكسجين والسيليكون والماغنيسيوم والكالسيوم والتيتانيوم. كما يتم إنتاج =

إن منشأ المستعرات العظمى من النمط الأول أقل وضوحاً. والاتفاق العام أنها تنتج عن تفجير نجم قزم أبيض في نجم ثنائي النظام. وعلى خلاف سلف مستعر أعظم لنجم ضخم، فالنجم القزم الأبيض ليس له بنية طبقات البصل المقوسة. وهو يتألف في الغالب من الكربون والأوكسجين. يفرز سلف المستعر الأعظم Ia المادة من رفيقه حتى تصل إلى ما يسمى حد شاندراسيخار (Chandrasekhar limit)، نحو ١,٤ مرة من الكتلة الشمسية[١] عند هذه النقطة، تُحوِّل التفاعلات الحرارية الطريدة الكثير من الكربون والأوكسجين إلى عناصر ثقيلة[٢]

اليوم، تموت المستعرات العظمى في مجرتنا حوالي مرّة كلّ خمسين سنة. لكن إذا حكمنا انطلاقاً من الوفرة الحالية للمعادن في المجرّة، يجب أن يكون معدّل المستعرات العظمى أعلى بكثير في وقت مبكّر. فيجب أن يكون متوسّط معدّلها على كامل تاريخ المجرّة حوالي واحد كلّ ثلاث سنوات[٣] كان كلّ من معدّل المستعرات العظمى والمعدّلات النّسبية لنوعيها آخذاً في الانخفاض منذ فترة وجيزة بعد أن بدأت مجرّة درب التّبانة في التّشكل[٤]

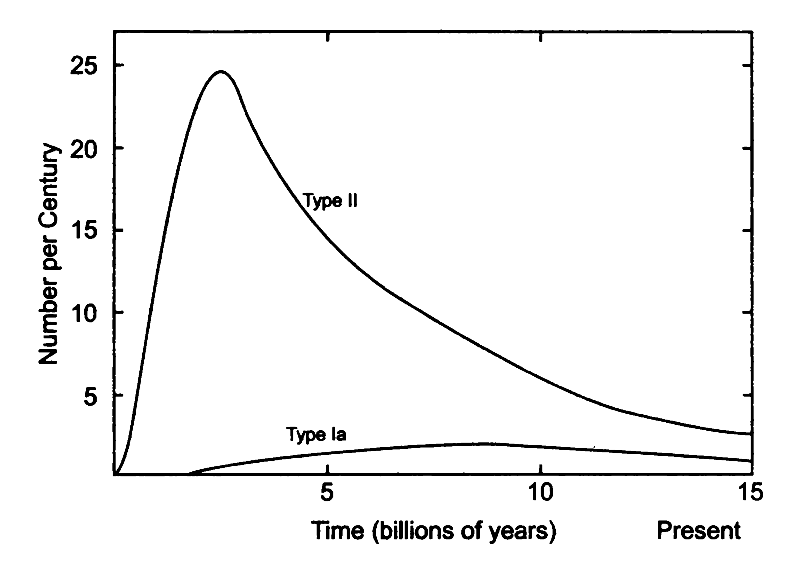
= ما يسمى بالعناصر السريعة أو عناصر «عملية التقاط النيوترون السريعة» (r-process)؛ في دقائق قليلة بعد بدء الانفجار، يتم تحرير العديد من النيوترونات الحرة، فتُلتقَط بشكل تفضيلي وسريع من قبل العناصر الثقيلة. يؤدي هذا إلى إنتاج نظائر تصل إلى الثوريوم واليورانيوم من «البذور» الأولية الخفيفة كالحديد.

(١) هذه هي الكتلة القصوى التي يمكن أن يدعمها ضغط التردّي الإلكتروني، الذي يسببه مبدأ باولي للاستبعاد حينما يعمل على الإلكترونات الحرة. بخلاف الغاز في الغلاف الجوي للأرض أو في الشمس الذي تدعمه حركات الجسيمات المكونة، يكون الغاز في قزم أبيض مدعّماً بتأثير كمومي يسمى التردّي الإلكتروني. يصف مبدأ باولي للاستبعاد حالات الطاقة المسموح بها الإلكترونات الحرة. لا يمكن أن تحتل الجسيمات الأولية أي حالة للطاقة بخلاف الجسيمات الماكروسكوبية. في الكثافات التي تصادف باطن القزم الأبيض، يكون ضغط التردّي الإلكتروني أكبر بكثير من ضغط الغاز المعروف.

(٢) بخلاف عناصر المستعر الأعظم من النوع II، فـ«البقايا» الأكثر وفرة من المستعر الأعظم من النوع Ia هي عناصر ذروة الحديد (الحديد والنيكل والكوبالت). مع انعدام النيوترونات الحرة الوافرة (وبالتالي عناصر عملية التقاط النيوترون السريعة) المنتجة في حادث انهيار النواة.

(٣) R. E. Davies and R. H. Koch, "All the Observed Universe Has Contributed to Life," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* B 334 (1991): 391 -403.

(٤) مع نماذج التطور الكيميائي المجري، المعايَرة من خلال مراقبة التركيبات الكيميائية للنجوم من مختلف =



● **الشكل ٨,٧: التطوّر المحسوب لمعدل المستعرات العظمى في مجرّة درب التّبانة منذ تشكّلها. كانت مستعرات (النّجم الضخم) من النّوع ٢ تهيمن دائماً على مستعرات (القزم الأبيض الثّنائي) من النوع Ia. تستند إعادة البناء هذه على نماذج التطوّر الكيميائي المجرّي، المعايرة باستخدام الأنماط الكيميائية الملاحظة لوفرة النّجوم من أعمار متفاوتة. وفي الواقع فإنّ تطوّر معدل المستعر الأعظم ربّما لم يكن انسيابيّاً كما هو مبيّن في الشّكل، ولكن أي تغيّرات إضافية ربّما كانت ثانوية من حيث الحجم. تبيّن نتائج هذه الحسابات أنّ المجرّة كانت مكاناً أكثر خطورة في وقت مبكّر.**

وبما أنّ السّوبرنوفا تعيد المادة المصنّعة إلى المجرّة، فإنّ النّجوم المتشكّلة اليوم يجب أن تختلف عن تلك التي تشكّلت في أزمنة أخرى. على وجه الخصوص، ستكون هناك كمية أقلّ من الأوكسجين، السّيليكون،

= الأعمار، يعيد علماء الفلك بناء تطور معدل تشكل النجوم (وبالتالي معدلات المستعرات ومدخل الغاز). يخبرنا قياس نسب الأوكسجين إلى الحديد في نجوم الهالة والقرص مع أعمار محددة، كيف تغيرت نسبة مستعرات Ia/II مع مرور الوقت. يخبرنا أن كلاًّ من معدل المستعرات والأعداد النسبية لمستعرات II بالنسبة إلى مستعرات Ia كانت آخذة في الانخفاض بعد وقت قصير من بدء تشكّل مجرة درب التبانة. يساوي معدل مستعرات II معدل الإنتاج الفوري للنجوم الضخمة النادرة نسبيّاً. ويعتمد معدل مستعرات Ia على معدل إنتاج المزيد من النجوم المنتشرة متوسطة الكتلة ويستجيب ببطء كبير للتغيرات في معدل تشكل النجوم. انظر:

F. X. Timmes, S. E. Woosley, and T. A. Weaver, "Galactic Chemical Evolution: Hydrogen Through Zinc," *Astrophysical Journal Supplement* 98 (1995), 617-658. L. Potinari, C. Chiosi, and A. Bressan, "Galactic Chemical Enrichment with New Metallicity Dependent Stellar Yields," *Astronomy & Astrophysics* 334 (1998), 505-539. M. Samland, "Modeling the Evolution of Disk Galaxies. II. Yields of Massive Stars," *Astrophysical Journal* 496 (1998), 297-306.

والماغنيسيوم بالنّسبة إلى الحديد في المادة البينجمية مع تقدّم عمر المجرّة. على فرض بقاء ما عدا ذلك على حاله، فهذا يعني: أنّ الكوكب الأرضي المتشكّل اليوم سيتوفر على نواة واسعة من الحديد بالنّسبة إلى ردائه، مقارنة بكوكب تشكّل في الماضي. وهذا قد يضيّق الإطار الزمني لتشكّل الكواكب التي تشبه الأرض إذا تبيّن أنّ هذه النّسبة ستكون أمراً حاسماً للحفاظ على تكتونية الصّفائح.

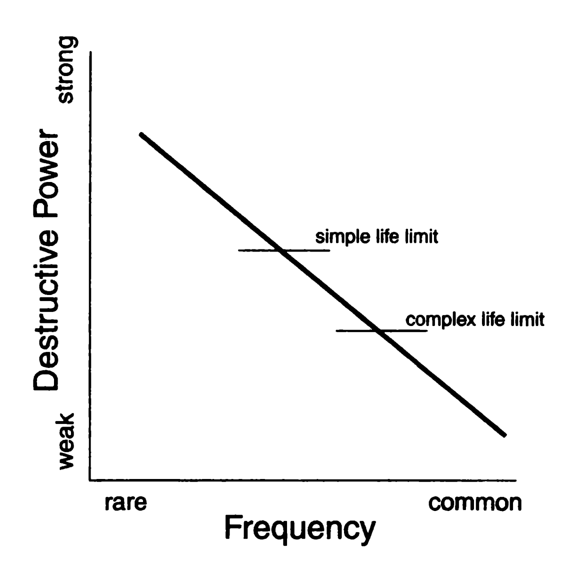
ثمّة اتّجاه هامّ آخر وهو تركيز النّظائر المشعّة طويلة الأمد في الوسط البينجمي. مقارنة مع الحديد، أصبحت النّظائر المشعّة من البوتاسيوم والثّوريوم واليورانيوم أقلّ وفرة؛ لأنّ نسبة مستعرات Ia إلى مستعرات II تنخفض (وأحداث النوع II فقط التي تعيد هذه النّظائر المشعّة إلى الوسط البينجمي).

مجدّداً، على فرض بقاء ما عدا ذلك على حاله، فإنّ الكواكب الأرضية المتشكّلة اليوم سيكون لديها في ٤,٥ بليون سنة، حوالي ٦٠ في المئة من التّدفئة الدّاخلية المتاحة من التحلل الإشعاعي في الأرض اليوم؛ لذلك، فإنّ تكتونية الصّفائح ربّما لن تكون طويلة الأمد في الكواكب الأرضية المستقبلية، وكوكب ذو حمل حراري أقلّ نشاطاً في نواته قد لا يطوّر حقلاً مغناطيسيّاً قويّاً[١]

وباختصار، لم تكن هناك عناصر أساسية كافية لبناء كواكب بكتلة الأرض حتى بلغ عمر درب التبانة بضعة مليارات من السنين، ومن ثم كان هناك ما يكفي منها فقط في مناطقها الداخلية. يجب أن تحتوي المناطق الحالية من قرصها داخل مدار الشمس على الكثير من الوحدات البنائية لصنع كواكب بكتلة الأرض. يعتمد تشكل الكواكب العملاقة والمذنبات، أيضاً، على زاد الرماد من المستعرات العظمى، ويؤثر كذلك على صلاحية الحياة على الكواكب بكتلة الأرض.

---

(١) لا ندري كم من الوقت ستستمر تكتونية الصفائح على كوكب بحجم الأرض وحرارة داخلية أقل بنسبة ٤٠ في المائة، لكن الجيوفيزيائيين المشاركين في بحوث علم الأحياء الفلكية قد بدؤوا بالتفكير في هذا السؤال. انظر: المناقشة حول هذا الموضوع في Gonzalez, Ward, and Brownlee, "The Galactic Habitable Zone".



● **الشكل ٨،٨: تتبع معظم التهديدات التي تتعرض لها الحياة على الأرض قاعدة واحدة: كلما كانت أكثر نشاطاً كلما كانت أكثر ندرة. وهكذا، فإن التوهجات الشمسية وإشعاعات المستعرات العظمى التي تصل إلى الأرض، وصدامات الكواكب والمذنبات والانفجارات البركانية تشكل تهديدات رئيسية للحياة على مدى فترات زمنية طويلة. بما أن الحد الأدنى للانقراض في الحياة البسيطة أعلى منه في الحياة المعقدة، فإن الكوكب قد يكون قادراً على دعم الحياة البسيطة لا الحياة المعقدة. ويشير هذا الشكل أيضاً إلى أن الكوكب الذي يواجه أحداثاً منخفضة الشدة وأكثر تواتراً، من نوع معين، مثل السويرنوفا البعيدة، ستواجه كذلك أحداثاً أكثر تواتراً ومرتفعة الشدة من النوع نفسه (مثل السويرنوفا القريبة).**

تتغير الوفرة النسبية للماغنيسيوم والسيليكون والحديد أيضاً، مع المكان والزمن، مما يؤدي إلى اختلافات في جيولوجيا الكواكب. إضافة إلى ذلك، من المرجح أن الكوكب النموذجي بكتلة الأرض المتشكل في المستقبل سيتوفر على تركيز أقل من النظائر المشعة الهامة من الناحية الجيوفيزيائية، وبالتالي، نشاط تكتونيّ ضعيف. تحد هذه العوامل بنفسها الزمن والمكان في مجرتنا حيث يمكن للكواكب الشبيهة بالأرض أن تتشكل.

بقاء الحياة المعقدة:

إنه حتّى لو كان بإمكانك الحصول على جميع الذّرّات المناسبة في الزّمان والمكان المناسبين لبناء كوكب أرضي بكتلة الأرض ومدارها، فإنّ لا شيء يبرّر لك أن تلصق عليه بطاقة «صالح للحياة» ثم تقوم بشحنه من

متْحرك. يجب أن يكون الكوكب أيضاً متحرّراً بدرجة كبيرة من الأخطار التي تهدّد الحياة المعقّدة. هناك نوعان رئيسيان من الأخطار طويلة المدى من خارج الأرض: الصّدمات المترتّبة عن الكويكبات أو المذنبات الكبيرة وأحداث الإشعاعات العابرة.

تبدو العديد من أحداث الانقراض (extinction events) الواسعة واضحة في السجل الجيولوجي. وبعد سنين عدة من النقاش، فإن معظم علماء الإحاثة مقتنعون اليوم أن أحدها انقراض العصر الطباشيري/الثلاثي (K/T) الذي وقع قبل ٦٥ مليون سنة، كان نتيجة اصطدام جسم ضخم من خارج الأرض، تشير أيضاً البحوث الحديثة في طبقات حدود البرمي/الترياسي التي يبلغ عمرها ٢٥٠ مليون سنة إلى حدث اصطدام، ولكن الدليل القاطع عليه ما زال مفقوداً، (نستذكر هنا مناقشتنا في الفصل السادس حول السيناريو البديل)[١] (نحن لا نعرف حتى الآن ما إذا كانت الكويكبات قد اصطدمت بالأرض أكثر من المذنبات، لذلك سنفترض حالياً أن اصطداماتهما متساوية تقريباً).

المذنبات غير عادية، وهي تزور النظام الشمسي الدّاخلي كعَمٍّ عابر يزور دون إعلان مسبق، يعتقد الفلكيون أن المذنبات تقضي معظم وقتها في مستودعين طويلي المدى، وهما حزام كايْبِر (Kuiper Belt) وسحابة أورت (Oort cloud). حتى زمن ليس ببعيد، كان حزام كايْبِر نظرياً فقط، عبارة عن سرب واسع من الأجسام الجليدية في مدارات منخفضة الانحراف إلى حدٍّ ما وراء مدار بلوتو. نعرف اليوم مدارات حوالي أربعمائة جسم من حزام كايْبِر. تشير الملاحظات بالأشعة تحت الحمراء للنجوم القريبة أن معظمها محاط بالغبار الزائد، مما يفترض أنها تمتلك أيضاً حزام كايْبِر[٢] وقد فسَّر علماء الفلك التغيرات في أشكال بعض الخطوط الطيفية في بيتا بيكتوريس (Beta

---

(١) L. Becker et al., "Impact Event at the Permian-Triassic Boundary: Evidence from Extraterrestrial Noble Gases in Fullerenes," *Science* 291 (2001), 1530-1533.

انظر: أيضاً المناقشة التالية، Science 293 (2001): 2343.

(٢) H. J. Habing et al., "Disappearance of Stellar Debris Disks around Main-sequence Stars after 400 Million Years," *Nature* 401 (1999), 456-457.

Pictoris)، وهو نجم صغير (العمر) مع قرص غباري؛ كمذنبات تسقط إلى الداخل. فسّر بعضهم اكتشاف بخار الماء حول النجم الكبير (العمر) (IRC+10216) كدليل على عدد كبير من المذنبات حوله(١) فنستنتج وجود سحابة أورت الخاصة بالشمس. وهو أحد الخزائن الرئيسية للمذنبات من المذنبات طويلة المدى التي تزور سماءنا الليلية. تتوفر هذه المذنبات على مدارات إهليلجية للغاية - وفي الواقع، فمداراتها تقريباً شَلْجمية - لذلك فهي تقضي معظم وقتها بعيدة عن الشمس وراء حزام كايْبِر، بحوالي عشرين ألف وحدة فلكية. وبما أن المذنبات في سحابة أورت مقيدة على نحو ضعيف بالشمس، فإن الأمر لا يتطلب الكثير لتشويشها.

وبينما يعتمد إنشاء خزانات المذنب النائية حول الشمس على انحرافات الجاذبية للكواكب العملاقة، بمجرد أن يصبح المذنب في إحدى هذه المدارات الضخمة، شَلْجمية الشكل تقريباً، فإنه يكون حساساً جدّاً للاضطرابات بالمقياس المجرّي. ويشمل هذا حركات المد والجزر قرب اللقاءات بالسّحب الجزيئية العملاقة (giant molecular clouds-GMCs) والنجوم المارة(٢) تتغير الحركات المدية المجرّية عندما تتأرجح الشمس صعوداً وهبوطاً بالنسبة إلى المستوى الناصف للقرص في رحلتها حول مركز المجرة. (ومع أنه لا يمكننا التحقق من ذلك بعد، فقد جادل بعض علماء الفلك أن فترة هذا التذبذب الرأسي توافق سجل الحفر الأرضية). يمكن أن تحتوي سحابة جزيئية عملاقة نموذجية على نصف مليون تقريباً من الكتل

---

(١) G. J. Melnick, "Discovery of Water Vapour around IRC 1 10216 as Evidence for Comets Orbiting Another Star," *Nature* 412 (2001), 160-163.

ويقول الباحثون: إن كميات بخار الماء التي يكتشفونها غير متوقعة بالنسبة لهذا النجم. وأفضل تفسير يمكنهم تقديمه هو أن الزيادة الحديثة في سطوع النجوم يتسبب في تبخر المذنبات من حوله.

(٢) انظر: J. J. Matese and J. J. Lissauer, "Characteristics and Frequency of Weak Stellar Impulses of the Oort Cloud," *Icarus* 157 (2002), 240-288.

لنكون أكثر دقة، تقع المذنبات في حزام كايْبِر في مدارات أقل انحرافية، وهي أقل تأثراً بالحركات المدية المجرية؛ وتُعد النجوم المارة القريبة المُشوِّشات الرئيسية لمذنبات حزام كايْبِر.

الشمسية من الغاز والغبار. يشير استقراء مسار الشمس إلى أننا لم نمر بالقرب من GMC في أي وقت خلال ملايين السنوات القليلة الماضية، ولا نحن في خطر إذا مررنا بالقرب من إحداها في أي وقت قريب. لكن النجوم بإمكانها أن تمر بقرب أو من خلال سحابة أورت الخاصة بالشمس في أي وقت. التأثير المشترك المتوقع لجميع هذه الاضطرابات هو ارتفاع تصادفي في تدفق المذنب نحو النظام الشمسي الداخلي المتراكبة على المزيد من التغيرات شبه العادية.

المذنّبات حول نجم حسّاسة جاذبيّاً لموضع النّجم في مجرّة درب التّبّانة. كلّما كانت النجوم في القرص أقرب إلى مركز المجرّة، كانت محتشدة بكثافة. وعلاوة على ذلك، فإنه سيكون من المرجّح أن النّظام الكوكبي المتشكّل من سحابة جزيئية غنية بالمعادن أكثر من الشّمس أن يشكّل المزيد من المذنّبات. وعليه، فإنّه من المحتمل أن الأنظمة الكوكبية في القرص الدّاخلي لمجرتنا تبدأ مع أكثر من أحزمة كايْبِر المكتظّة وسُحب أورت، ويجب أن تواجه «حمّامات من المذنّبات» بشكل أكثر تواتراً بسبب الحركات المدّية المجرّية القويّة ولقاءات أكثر تواتراً مع النّجوم القريبة[١] وبينما تصبح سحابة أورت الخارجية للقرص الداخلي للنجم مُستَنْفَدة بسرعة أكبر، يتم إعادة تزويدها أيضاً بسرعة أكبر من مذنبات سحابة أورت الداخلية والمقيدة بإحكام بها.

يعتمد التّهديد الذي تسلّطه الكويكبات في نظامنا الشّمسي على تفاصيل تكوين كوكب المشتري ومداره (كما ناقشنا في الفصل الرابع). ربما يكون

(١) لكي تدخل المذنبات سحابة أورت بعد أن تشكّلت في القرص الكوكبي الأولي للشمس، يعتقد علماء الفلك أنّها رُميَت من منطقة الكوكب العملاق عن طريق لقاءات قريبة. والنظام الكوكبي الذي يُشكّل أقل و/أو عدداً قليلاً من الكواكب العملاقة الضخمة سيسمح بعدد قليل من المذنبات في سحابة أورت الخاصة به. ومن المرجح أن يتشكّل مثل هذا النظام من سحابة تفتقر بشكل أكبر إلى المعادن. وبالتالي، فإن عدد المذنبات في سحابة أورت الخاصة بنجم معين ستكون حساسة للغاية لمعدنيته. والعوامل الأخرى التي تؤثر على تشكّل الكواكب العملاقة ستؤثر أيضاً على تشكل سحابة أورت. ويعتقد أن المذنبات في حزام كايبر تتشكل محليّاً.

للاضطرابات بحسب المقياس المجرّي تأثيراً ضئيلاً على دينامية الكويكبات. يجب أن يكون العدد الأولي للكويكبات متناسباً مع المنح الأولي للمعادن، ولكن عددها النّهائي يعتمد على العوامل المحلّية. ومع ذلك هناك عامل خارجي واحد ممكن متعلّق بالكويكبات: وهو النّظائر المشعّة قصيرة الأمد التي تنتجها النّجوم الضّخمة في سحابة ولادة النّظام الشّمسي. تفترض الأدلّة الكيميائية من النّيازك أنّ أجسامها الأصلية كانت ساخنة في وقت مبكّر، قام التّسخين الإضافي بتميّه المعادن في الكويكبات، لتأمين المياه داخلها. ولو أن هذا لم يكن، لبخّرت حرارة الشّمس تلك المياه في نهاية المطاف. وهذا أمر مهم؛ لأن العديد من الكويكبات تحمل مياهها إلى الأرض، فتساعد على ملء محيطاتها. لولا وجود ما يكفي من النّظائر المشعّة قصيرة الأجل في الكويكبات، لما كان بإمكان الأرض أبداً تلقّي ما يكفي من المياه.

يمكن للإشعاع عالي الطاقة أن يمارس تدميره بشدة أقل من الاصطدامات الكبيرة، ولكنه ليس أقل فعالية منها[1] يشكل الحقل

---

(١) وقد جادل عالِما الفيزياء الفلكية جون سكالو (John Scalo) وكريج ويلر (Craig Wheeler) من جامعة تكساس في أوستن أن المستويات العالية للإشعاع (كالتي توفرها المصادر الخارجية) تُسرّع التطور من خلال توليد الطفرات المفيدة. انظر:

J. Scalo, J. C. Wheeler, and P. Williams, "Intermittent Jolts of Galactic UV Radiation: Mutageneic Effects," Frontiers of Life; 12th Rencontres de Blois, ed. L. M. Celnikier, in press.

وهم يبنون قضيتهم على عمليات المحاكاة للتطور والأدلة المخبرية المفترضة على التطور المُحَرَّض/ المُحْدَث في التجمعات البكتيرية. والدليل التجريبي الأساسي الذي يقدمونه لدعم هذا الادعاء هو:

Vulic, R. E. Lenski, and M. Radman, "Mutation, Recombination, and Incipient Speciation of Bacteria in the Laboratory," Publications of the National Academy of Sciences 96 (1999): 7348-7351.

وإذا كانت هذه الدراسة قد اقتربت أكثر من أي دراسة أخرى في ادعائها لإنتاج أنواع جديدة من البكتيريا، فهي لم تفعل ذلك حقيقةً. قام الباحثون بإنتاج حاجز جيني بين خطين متطابقين، وهُم يقرون بأنه «أصغر بكثير من الحاجز بين الأنواع المتمايزة تمايزاً واضحاً، مثل الإشريكية القولونية وسلمونيلة كوليرا الخنازير». وهكذا، فحتى مع الضغوط الاصطناعية الانتقائية العالية التي يطبقها العلماء على الإنتاج السريع للبكتيريا في المختبر، لا يوجد أي دليل على أن الطفرات الجينية العشوائية تُنتج ابتداعات تطورية فوق مستوى الأنواع. لا يوجد إلا الدليل على الطفرات السلبية، التي تنتج العاجزة والمقصاة من العشيرة عن طريق الانتقاء الطبيعي. أضف إلى ذلك حقيقة أن الأرض الأولية قد شهدت مستويات إشعاع أعلى بكثير مما شهدته في الوقت الحالي، عن طريق المستعرات العظمى القريبة، =

المغناطيسي للأرض والغلاف الجوي درعاً لسطح الحياة من أغلب الجسيمات الإشعاعية والإشعاع الكهرومغناطيسي الخطير. ولكن بعض الانفجارات الإشعاعية خارج الأرضية يمكن أن تضر طبقة الأوزون في غلافنا الجوي العلوي، مما ينتج إشعاعاً أكثر تدميراً على سطح الأرض[1] وبغرض خفض المدة، فإن مثل هذه «الأحداث الإشعاعية العابرة» تتضمن الانفجارات النواة المجرّية النشطة (active galactic nucleus-AGN) المستعرات العظمى، وانفجارات أشعة غاما. تعتبر هذه المصادر الإشعاعية وغيرها الأكثر تهديداً في

= والانفجارات الشمسية، والبوتاسيوم ـ ٤٠ في المحيطات، ومع ذلك فإن الحياة بالكاد قامت بأي شيء مثير للاهتمام لمدة تقارب ملياري سنة.

وحتى لو سلمنا بمقدمات سكالو وويلر حول التطور البيولوجي، فإننا نعترض على جانب واحد في تطبيق نظريتهما على الإعدادات الفيزيائية الفلكية: فهما يزعمان أن ارتفاع معدل الأحداث الإشعاعية المتقطعة غير المميتة سيسرِّع التطور. ومع ذلك ففي كل وضع فيزيائي فلكي يمكننا التفكير فيه، يرافق التزايدَ في معدل الأحداث منخفضة الكثافة تزايدٌ أيضاً في معدل الأحداث عالية الكثافة (وهذا ينطبق على المستعرات العظمى، وانفجارات أشعة غاما، والانفجارات النجمية وما إلى ذلك). وبالتالي ففي نموذجهما، سيكون معدل التطور المتسارع مصحوباً باحتمال كبير للتعقيم. وسيكون التعقيم الكامل أقل احتمالاً للحياة الأكثر بساطة وأكثر احتمالاً للحياة الأكثر تعقيداً. والعجيب أنه حتى داخل هذا النموذج، لا يزال هناك مكان مُمَيَّز للحياة في المجرة؛ لأن معدلات المستعرات المنخفضة ستبطئ تطور الحياة كما أن معدلات المستعرات المرتفعة ستقتل الحياة المعقدة.

(١) هناك سيناريوهان رئيسيان يتعلقان بالضرر الذي يلحق بطبقة الأوزون؛ **أولاً**: يسمح الضرر اللاحق بطبقة الأوزون بوصول المزيد من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأرض. ويمكن أن يحدث هذا إذا كان الإشعاع قادراً على تأيين الذرات في ستراتوسفير الأرض وتوليد أكاسيد النيتروجين التي تدمر الأوزون. **ثانياً**: يؤدي الارتفاع في تدفق إشعاع الجسيمات في الغلاف الجوي العلوي إلى تدفق أكبر من الجسيمات الثانوية على السطح. وسيضر تدفق الإشعاع الشديد ما يكفي ليكون ملحوظاً على السطح أيضاً بطبقة الأوزون. وقد تكون المستعرات القريبة أحد الأسباب لكن الموضوع كان مثيراً للجدل لعدة عقود. للاطلاع على مناقشة حول العمليات الفيزيائية المعنيّة، انظر:

M. A. Ruderman, "Possible Consequences of Nearby Supernova Explosions for Atmospheric Ozone and Terrestrial Life," *Science* 184 (1974), 1079-1081.

للاطلاع على آخر مناقشة حول هذا الموضوع، انظر:

N. Benitez, J. Maiz-Apellaniz, and M. Canelles, "Evidence for Nearby Supernova Explosions," *Physical Review Letters* 88 (2002), 101-108. N. Gehrels et al., "Ozone Depletion from Nearby Supernovae," *Astrophysical Journal* 585 (2003), 1169-1176.

ويمكن أيضاً أن يشكل تدفق النيوترينو العالي من مستعر قريب تهديداً للحياة؛ انظر:

J. I. Collar, "Biological Effects of Stellar Collapse Neutrinos," *Physical Review Letters* 76 (1996), 999-1002.

المناطق الداخلية من مجرة درب التبانة، ببساطة لأن النجوم أكثر تركيزاً هناك.

وكتنين عملاق نائم في جوف الجبل، ربما يسكن مركز مجرتنا ثقب أسود ضخم، مع أنه حاليّاً غير نشط إلى حدٍّ ما. كما هو الشأن بالنسبة لمجرتنا، معظم المجرات الكبيرة في الكون القريب لا تتوفر على نوى نشطة، لكن البحوث الأخيرة بواسطة مرصد هابل الفضائي تكشف أن جميعها تقريباً قد تمتلك ثقباً أسودَ عملاقاً يتربص هناك. من المفترض أن الثقب الأسود الساكن «يستيقظ» عندما يتجول نجم أو عنقود قريباً جدّاً منه فيصبح متصدعاً. لا ينبعث الإشعاع من الثقب الأسود نفسه بل من القرص المُزوِّد الساخن حوله. لحسن حظنا، تبدو المجرات الضخمة الأولية ـ أي الإهليلجية العملاقة ـ النوع المفضل لاستضافة الثقوب السوداء الأكثر ضخامة.

الثقوب السوداء أجسام مخيفة، إنها تشوه الفضاء والزمن والمنطق السليم، إنها شديدة الكثافة لدرجة أن الضوء أيضاً لا يستطيع الهروب من آفاقها. يعتقد أن الثقوب السوداء هي المحركات التي تدفع الكوازارات البعيدة والنوى شديدة الإضاءة للمجرات النشطة القريبة، يتوفر بعضها على نفاثات مرئية، مثل (M87 ـ مسييه ٨٧)، مجرة إهليلجية عملاقة من نوع ـ سي ذي الطاقة العالية والإشعاع الجسيمي. ينبعث معظمه على طول محور الدوران ـ بمعنى؛ أي: «فوق» و«تحت» المستوى المجرّي ـ لكن العديد من الجسيمات المشحونة تتخذ سبيلاً لولبيّاً على طول خطوط الحقل المغناطيسي للمجرة فتملأ حجمه. لذلك فليس من الغريب أن يكون بإمكان الـAGN أن تشكّل تهديداً كبيراً للحياة[١] وأسلم مكان يمكن التواجد فيه أثناء انفجارها هو القرص الخارجي، بعيداً عن النواة، وربما على مقربة من المستوى الناصف؛ حيث يحدث أن توجد الأرض. وأسوأ مكان يمكن الوجود فيه هو الحوصلة مع إشعاع حارق ونجوم بمدارات إهليلجية منحرفة للغاية، التي يمكن أن تقترب من نواة حيوية أو أن تمر عبر نَفّاث المجرة.

---

(١) J. N. Clarke, "Extraterrestrial Intelligence and Galactic Nuclear Activity," *Icarus* 46 (1981) 94-96.

تحدث مستعرات II - أيضاً - إشعاعاً مميتاً. يتركز معظمها في القرص الرقيق، داخل مدار الشمس، خصوصاً على طول الأذرع الحلزونية. تنتشر مستعرات Ia الأكثر نشاطاً والأقل تواتراً بشكل منتظم في القرص وربما تبلغ ذروتها قرب النواة. تشير ملاحظات بقايا السوبرنوفا أن معدل السوبرنوفا يبلغ ذروته بحوالي ستين في المئة من مسافة الشمس عن مركز المجرة؛ حيث تتواتر ١,٦ مرة أكثر مما هي عليه في موضع الشمس. كانت المستعرات بنوعيها أكثر تواتراً في مجرة درب التبانة خلال البليون سنة القليلة الأولى بعد تشكلها. إن تقديرات معدل المستعرات المهددة للحياة بجوار الشمس تختلف. وتبلغ متوسطها مرة واحدة كل بضع مئات من ملايين السنين(١)

وأخيراً، هناك انفجارات أشعة غاما. حصل علماء الفلك الأدلة في أواخر التسعينات من القرن الماضي أن هذه الأحداث الغامضة هي خارج المجرة، مما يجعلها من بين أكثر الأحداث العابرة طاقة منذ الانفجار الكبير(٢) وأيّاً كان المكان الذي تأتي منه، هناك شكل واحد فقط للحماية منها: الموقع. ربما نكون محظوظين فقط أننا تفادينا التيارات النَفّاثة الانفجارية لأشعة غاما المباشرة، كما يساعدنا أننا في منطقة غير مكتظة بالنجوم، كما هو الشأن في مركز المجرة(٣)

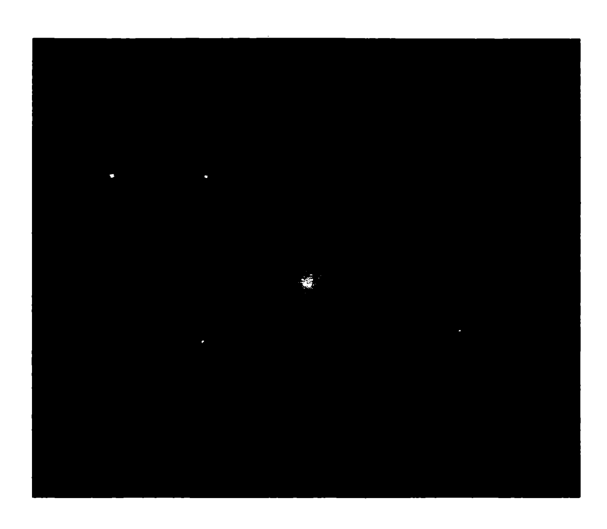
---

(١) J. Ellis and D. N. Schramm, "Could a Nearby Supernova Explosion Have Caused a Mass Extinction?" *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92 (1995), 235-238. Gehrels et al.

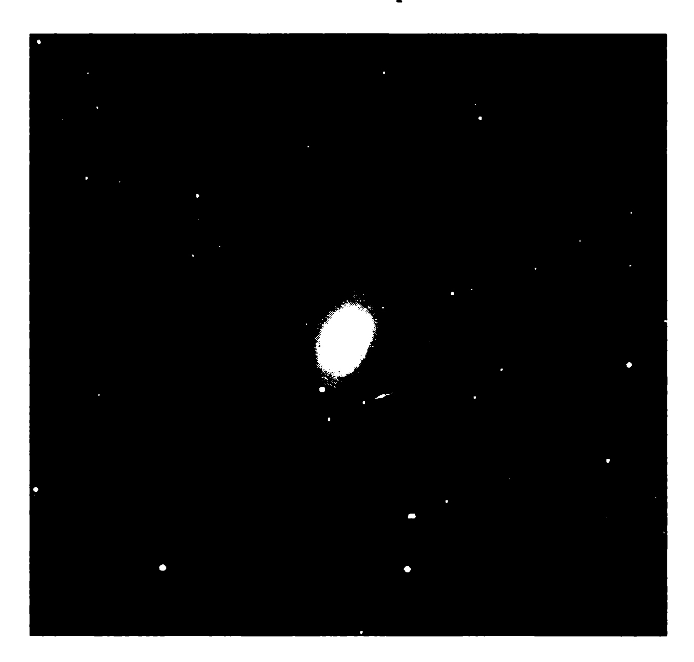
(٢) نعني بعبارة «خارج المجرة» أن انفجارات أشعة غاما لا يمكن أن تحدث في مجرة درب التبانة. إنما نعني أن انفجارات أشعة غاما الملاحظة ليست ظواهر محلية قاصرة على مجرة درب التبانة. ولا تزال تكتنف أسراراً عدة، مثل كمية «تركيز» إشعاعها، والأسباب الفيزيائية الكامنة، مثل النجوم النيوترونية المندمجة، أو انفجار نجم ضخم جدّاً.

(٣) للاطلاع على مناقشة حول احتمال انفجار أشعة غاما القريبة وآثارها المحتملة على حياة الأرض، انظر: A. Dar and A. De Rujula, "The Threat to Life from Eta Carina and Gamma-Ray Bursts," in Astrophysics and Gamma Ray Physics in Space, A. Moselli and P. Picozza, eds. (Frascati Physics Series, 2002): 513-523; J. Annis, "An Astrophysical Explanation for the Great Silence," *Journal of the British Interplanetary Society* 52 (1999), 19-22. J. Scalo and J. C. Wheeler, "Astrophysical and Astrobiological Implications of Gamma-Ray Burst Properties," *Astrophysical Journal* 566 (2002), 723-737.

ونظراً للمدة القصيرة جدّاً لانفجار أشعة غاما، فإن النصف فقط من سطح الكوكب معرض لخطر التعقيم من حدث قريب.



● **الشكل ٨,٩**: الـ**M 87**، مجرة إهليلجية عملاقة في قلب عنقود العذراء المجرّي؛ من المحتمل أن هذه المجرة تحتوي على ثقب أسود عملاق في نواتها. يخرج «التيار الغازي النَفّاث» (jet) مرئياً وخافتاً من النواة. توفر المجرات الإهليلجية العملاقة بيئات أكثر خطورة ومنصات أسوأ للاكتشاف العلمي من المجرات المسطحة مثل درب التبانة.



● **الشكل ٨,١٠**: الـ**M 81**، مجرة حلزونية متألقة في كوكبة الدب الأكبر (**Ursa Major**)، وواحدة من أقرب المجرات الكبيرة. يشير السهم إلى موقع المستعر الأعظم (**J ١٩٩٣**)، الذي يقع داخل المجرة. تم الحصول على الصورة في مايو/ماي سنة ١٩٩٣م، بعد شهرين تقريباً من ظهور النجم الجديد لأول مرة. كل النجوم الساطعة الأخرى في الصورة هي نجوم أمامية في مجرتنا.

ونحن محظوظون أيضاً أننا لا نوجد في عنقود كروي، وهذا ليس فقط للأسباب المذكورة سابقاً. بل لأن مداراتها أيضاً تتقاطع مع القرص بشكل عمودي تقريباً، تمر العناقيد الكروية عبر القرص بسرعات عنيفة ـ حوالي ٢٥٠ كيلو متراً في الثانية أو أكثر. في مثل هذه السرعات، يمكن أن تنتج ذرات الهيدروجين في القرص التي تؤثر على الغلاف الجوي لكوكب في عنقود كروي الأشعة السينية القاتلة. كما يمكن للغبار المؤثر أن يودع كميات هائلة من الطاقة، هي أسوأ من عاصفة رملية عراقية(١) وستعاني نجوم القرص القديم والحوصلة من تهديدات مماثلة إن لم تكن أقل حدَّة. في المقابل، يقل احتمال أن يعاني النظام الشمسي مع مداره «البارد» جدّاً في القرص الرقيق (انظر: أدناه)، من مثل هذه التهديدات. وبالتالي فإن العناقيد الكروية هي بالتأكيد بيئات مرحبة بالحياة، كما أن أنظمة نجوم القرص القديم والحوصلة، مع أنها ليست سيئة تماماً، فهي لا ترقى أن تكون ريتز كارلتون خاص بدرب التبانة على الإطلاق.

لقد راجعنا الآن جميع العوامل على المقياس المجرّي ـ أو على الأقل التي يمكن أن نفكر بها ـ التي تعين حدود النطاق المجري الصالح للحياة، من وجهة نظر نظرية جدّاً. ولكننا لم نستنفد بعد جميع مصادر المعلومات حول هذا الموضوع.

تطبيق المبدأ الأنثروبي الضعيف على المجرة:

لقد علمنا في الفصل السابق بعض الطرق التي تكون فيها الشمس شاذة مقارنة بالنجوم القريبة الأخرى. وفسّرناها في سياق المبدأ الأنثروبي الضعيف (WAP). يمكننا أن نلعب اللعبة نفسها بشأن تكوين الشمس، وموقعها، ومدارها في مجرة درب التبانة.

بالنظر إلى غيرها من النجوم الرئيسية بنفس عمرها في النسق الأساسي،

---

(١) ووفقاً لجون لويس (John Lewis) فإن ذرة الغبار التي تسير بهذه السرعة «ستكون لها طاقة حركية تساوي القوة الانفجارية لأكثر من مائة ألف مرة وزنَها من مادة TNT».

Lewis, *Worlds Without End* 169.

تُعد الشمس غنية بالمعادن. منذ تشكل الشمس قبل ٤,٦ مليار سنة، أصبحت منطقتنا أكثر ثراء بالمعادن، لكن الغاز البينجمي المحلي يصل الآن فقط لمعدنية الشمس. وبما أن الأرض تكاد تكون مصنوعة بالكامل من المعادن، فإن بناء الكواكب الأرضية يتطلب حدّاً أدنى من معدنية الغاز البينجمي. بالإضافة إلى أن معدنية الشمس العالية بشكل معتدل مقارنة بالنجوم الأخرى قد تمثل الحد الأدنى المطلوب لبناء كواكب أرضية بحجم الزهرة والأرض. وفي الوقت نفسه، فإن للشمس معدنية أقل بالمقارنة مع معظم النجوم التي لوحظ أنها تستضيف الكواكب العملاقة. وكما ذكرنا أعلاه، يبدو أن أنظمة الكواكب الغنية بالمعادن كواكب عملاقة في مدارات قصيرة جدّاً أو في مدارات انحرافية أكبر، وكلاهما إشكالي للكواكب الأرضية التي تأمل استضافة الحياة. وهكذا، فإن المحتوى المعدني للشمس شاذ مقارنة بتجمعات النجوم في الحقل العام وبمجموعة مختارة من النجوم صاحبة الكواكب العملاقة. وإذن؛ ربما تكون حصتها من العناصر الثقيلة، قريبة من المتوسط الذهبي لبناء كواكب شبيهة بالأرض.

مدار الشمس في القرص أكثر استداراة تقريباً من معظم من النجوم التي في نفس عمرها. وحركتها العمودية على القرص تبدو أقل وضوحاً. فقد يكون موقعنا داخل مجرة درب التبانة أمراً خاصّاً أيضاً. بالتأكيد، كل مكان في مجرتنا له مميزاته الغريبة الخاصة به. ومع ذلك فإن بعض الأماكن أقل اعتيادية من الأماكن الأخرى؛ كالنواة وما يطلق عليه الفلكيون اسم «دائرة الدوران المرافق» (corotation circle). هذه الدائرة هي ذلك المكان في القرص من مجرة حلزونية؛ حيث يدور نجم حول نواة المجرة بنفس سرعة نمط الذراع الحلزوني. إذا كان مدار النجم قريباً ولكن ليس قريباً جدّاً من دائرة الدوران المرافق، فإنه سيقطع الأذرع الحلزونية بشكل أقل من غيره. لكن النجوم ترِنّ وتتجاوب (resonate) مع نمط الذراع الحلزوني، لترسَل في نهاية المطاف في رحلات كبيرة[1] وتزور بشكل ثابت الأذرع الحلزونية. لذلك، فلزيادة الوقت

(١) تقدّر مثل هذه الرحلات الشعاعية بحوالي ٢ ـ ٣ كيلوبارسيك في المليار سنة تقريباً. انظر:

ما أمكن في البعد عن الأذرع الحلزونية، يجب أن يكون النجم قريباً من دائرة الدوران المرافق لا فيها. وهذا أمر مهم لأن السّحب الجزيئية العملاقة الكامنة في الأذرع الحلزونية تشكل تهديدات عدة للحياة. لم يكن بإمكان الحياة المعقدة أن تنجو من أحداث الانقراض لو أن تقاطعات الأذرع كانت تقع في كثير من الأحيان. يجعل المدار الشمسي الدائري تقريباً والقريب جدّاً من دائرة الدوران المرافق، الشمس أقل احتمالاً أن تكون قد عبرت مؤخراً أو أنها ستعبر قريباً ذراعاً حلزونيّاً[1].

ومع ذلك؛ فإن حقيقة أننا نقع بين الأذرع الحلزونية الرئيسية لا يضمن أننا سنتجنب تهديدات المستعر الأعظم جميعها. فالأذرع الحلزونية مسننة، مع نتوءات تتخلل المناطق بين الأذرع. على سبيل المثال، أقرب عنقود من النجوم الضخمة هو مجموعة Scorpius-Centaurus OB association (Sco-Cen) المقدرة بحوالي أربعمائة سنة ضوئية، لا يوجد داخل ذراع رئيسية. ومن حسن الحظ أن هذا بعيد جدّاً كي يشكل تهديداً حقيقيّاً لنا. (ومن المثير للاهتمام، أنها كانت قريبة من موقع الشمس الحالي قبل خمسة إلى سبعة ملايين سنة، لكن الشمس آنذاك كانت في مكان آخر[2] قلب العقرب (Antares)، وهو نجم أحمر ساطع مرئي في برج العقرب (Scorpius)، يجب أن يكون العضو التالي من (Sco-Cen) ليصبح مستعراً، وبعيداً عنا بمسافة آمنة. ربما نفخت أضخم نجوم المجموعة الغاز الزائد والغبار بعيداً من المنطقة التي نمر بها حاليّاً، مما يتيح لنا رؤية أكثر وضوحاً كنتيجة. لو كان توقيت مرورنا عبر

= J. R. D. Lepine, I. A. Acharova, and Yu. N. Mishurov, "Corotation, Stellar Wandering, and Fine Structure of the Galactic Abundance Pattern," *Astrophysical Journal* 589 (2003), 210-216.

وستكون أفضل الأماكن للحياة على بعد كيلوبارسيك واحد تقريباً على كلا جانبي دائرة الدوران المرافق.

(١) لقد علمنا منذ العقود الأولى من القرن العشرين أننا لا نوجد في مركز المجرة، لكننا علمنا لبضع سنوات فقط أننا على مقربة من دائرة الدوران المرافق.

Yu. N. Mishurov and I. A. Zenina, "Yes, the Sun Is Located Near the Corotation Circle," Astronomy & Astrophysics 341 (1999): 81-85; D. Fernandez, F. Figueras, and J. Torra, "Kinematics of Young Stars. II. Galactic Spiral Structure," *Astronomy & Astrophysics* 372 (2001), 833-850.

(٢) J. Maiz-Apellaniz, "The Origin of the Local Bubble," *Astrophysical Journal* 560 (2001), L83-L86.

القرص مختلفاً قليلاً لما كنا هنا[١] يقترح المبدأ الأنثروبي الضعيف أيضاً أن الحركة العمودية اللطيفة للشمس وموقعها الحالي بالنسبة للمستوى الناصف، يمكن أن يساهم في صلاحية الحياة على الأرض. وكما أشرنا أعلاه، فإن الارتفاع الأقصى الذي يمكن أن تصله الشمس أقل من الارتفاع القصوي الذي يمكن أن يصل إليه نجم نموذجي بعمرها[٢] نحن الآن على بعد حوالي خمسين سنة ضوئية من المستوى الناصف، في طريقنا للخروج. خلال دورة التذبذب الرأسي الكامل، يقضي النجم معظم وقته قرب الحدود القصوى حيث يتحرك ببطء. إن أخذ مقاطع عشوائية من موضع النجم يجب أن تجده بعيداً عن المستوى الناصف. قد يعتقد المرء أن البقاء على مقربة من المستوى الناصف، بكل ما يحتويه من نجوم ضخمة وأذرع حلزونية، يشكل خطراً. ومن جهة أخرى، يبقى الغاز والغبار البينجمي قريبين جدّاً من المستوى الناصف. فيوفر هذا القرب حماية كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من المستعرات العظمى من نوع II القريبة. لكن الجولات الكبيرة من المستوى الناصف تؤدي إلى خطر آخر. فالنجم الذي له مطال رأسي أكبر من مطال الشمس سيعبر القرص بسرعة أكبر مثل كرة في يوم ربيعي. وهذا من شأنه أن يخلق مشكلة إذا ما النجم غرق بسرعة في منطقة مغبرة، ذلك أن الغبار سيسخن الغلاف الجوي للكوكب.

نادي المدينة الخصوصي:

في ضوء هذه العوامل، نرى أن النطاق المجري الصالح للحياة هو في

---

(١) تخمن بريسيلا فريش (Priscilla Frisch) وزملاؤها بأن المرور الحالي للشمس عبر منطقة ذات كثافة منخفضة جدّاً من الوسط البينجمي قد يكون مسؤولاً بشكل جزئي عن استقرار المناخ الذي سمح للحضارة بأن تزدهر

Frisch et al., "Galactic Environment of the Sun and Stars: Interstellar and Interplanetary Material," Astrophysics of Life, M. Livio, ed. (Cambridge: Cambridge University Press), in press.

(٢) ولعل للحركة العمودية الصغيرة للشمس نفس السبب الذي لانحرافيتها الصغيرة في مستوى القرص. بمعنى أنه من المرجح أن الانحرافات التجاذبية التي تزيد انحرافية مدار الشمس في مستوى القرص المجرّي تزيد أيضاً من حركتها العمودية على المستوى.

الحقيقة نادي المدينة الخصوصي للمراقبين. مقارنة بموقعنا الحالي، يعاني الچيتُو الداخلي لدرب التبانة من المزيد من التهديدات الإشعاعية، وصدمات المذنبات، وإن كوكباً بحجم الأرض أقل احتمالاً أن يتشكّل هناك في مدار دائري مستقر. المناطق الخارجية أكثر أماناً، لكن النجوم هناك لن تكون مصحوبة إلا بالكواكب الأرضية الصغيرة نسبيّاً، كواكب صغيرة جدّاً للحفاظ على غلاف جوي أو تكتونية الصفائح. وبيد أننا لا نستطيع حتى الآن أن نخبر عن مدى وسعها، فإن أفضل تخمين لنا هو أن النطاق المجري الصالح للحياة طوق ضبابي (أو حلقة) في القرص في موقع الشمس تقريباً، وهي حلقة تخترق الأذرع الحلزونية صلاحيتها للحياة حيث تعبرها. إذا كان القرب من دائرة الدوران المرافق أمراً مهمّاً بالنسبة لصلاحية الحياة فإن هذه الحلقة التي يتم عادة كسرها يمكن أن تكون أضيق. (انظر: اللوحة ١٧).

في الوقت نفسه، فإن النطاق المجري الصالح للحياة ـ وتحديداً، موقعنا فيه ـ يمنح أحد أفضل المواقع العامة لتكون فلكيّاً وعالم كونيات (مجري ونجمي) ناجح. وعلى الرغم من أننا نوجد بالقرب من المستوى الناصف، هناك انقراض بينجمي قليل في الجوار الشمسي. القرص مسطح للغاية وأقل إعاقة، ونحن بعيدون بما يكفي من المركز المجرّي مما يحول دون حجبه رؤيتنا للكون البعيد بشكل بالغ.

إن نموذجنا لهذا النطاق الصالح للحياة لا يزال غير تام، كما هو فهمنا لمهددات للحياة ومتطلباتها الأساسية. لكننا نأمل أن تقدم علم الفلك سوف يجيب على العديد من الأسئلة التي قمنا بطرحها[١] لو كان الاتجاه الذي عقد منذ ظهور علم الفلك المجرّي قبل بضعة عقود، فإن الحجم المقدر للنطاق المجري الصالح للحياة سيستمر في التقلص.

---

(١) بشكل خاص، فإن الدراسات المستمرة عن الثقوب السوداء العملاقة في النوى المجرية، ومستعرات الكون القريب، وانفجارات أشعة غاما البعيدة، والمذنبات في نظامنا الشمسي وغيرها، وستساعدنا الديناميات النجمية في قرص مجرتنا على فهم أفضل للتهديدات المتعددة التي تحيط ببقاء الحياة المعقدة.

مجرات أخرى:

وكان منطقتنا المجرّية الصالحة للحياة لم تكن محصورة على نحو ضيق، فإن الكون الشاسع يبدو فعلاً أقل ترحيباً. يوجد في الكون المحلي حوالي ثمانية وتسعين في المئة من المجرات أقل إضاءة - وبالتالي، وبشكلٍ عام، أكثر قلة من حيث المعادن - من درب التبانة[١]؛ لذا فإن مجرات بتمامها يمكن أن تخلو من الكواكب الصخرية بحجم الأرض[٢] بالإضافة إلى أن النجوم في المجرات الإهليلجية تتوفر على مدارات أقل تنظيماً، مثل النحل الذي يحلق حول الخلية مع عجز نحلة على مقاومة الاصطدامات الموشكة. وبالتالي فمن المرجح أن تزورِ المناطق الوسطى الخطيرة من المجرة[٣] ومن المحتمل أيضاً أن تمر بين السّحب البينجمية بسرعات عالية على نحو كارثي (مع أن هذه السّحب أقل شيوعاً في المجرات الإهليلجية). فمن نواح عديدة، مجرتنا هي المجرة المثلى للحياة: مجرة حلزونية متأخرة النمط، غنية بالمعادن، ومع مدارات منظمة، وخطورة أقل نسبيّاً بين الأذرع الحلزونية.

---

(١) وهذا لأن متوسط معدنية المجرة يرتبط بسطوعها. وبما أن المجرات الساطعة تحتوي على المزيد من النجوم، فإن المجرات الساطعة مثل مجرة درب التبانة - على الأقل - تحتوي على حوالي ٢٣ في المئة من النجوم. عندما نقارن إطارنا المجري بالمجرات الأخرى، فإنه لا يتضح أيها هو الإحصاء الأنسب. إذا كان السطوع الكلي (أو كتلة) المجرة أيضاً ذا صلة (وليس فقط معدنية نجم معين)، فإن الإحصاء الأصغر هو الأنسب. وللاطلاع على دليل رصدي على العلاقة بين سطوع المجرة والمعدنية، انظر:

D. R. Garnett, "The Luminosity-Metallicity Relation, Effective Yields, and Metal Loss in Spiral and Irregular Galaxies," *Astrophysical Journal* 581 (2002), 1019-1031.

(٢) وبطبيعة الحال، بما أنه سيكون لكل مجرة معينة منحناها الجرسي الخاص من المعدنيات النجمية، فإن المجرة الأقل سطوعاً - إلى حدٍّ ما - من مجرة درب التبانة ستحتوي على بعض النجوم المعدنية الشمسية. ومع ذلك فإنها ستميل إلى أن تكون قريبة من النواة الخطيرة. وبالتالي، ليس هناك خط فاصل حاد بين المجرات التي تتوفر على كواكب بكتلة الأرض والمجرات التي لا تتوفر عليها. ومع ذلك، فإنه لا يُحتمل أن يكون للمجرة التي لها متوسط معدنية يقل عن العُشْر الشمسي؛ أي: كواكب أرضية بكتلة الأرض.

(٣) لا نقصد أنه من المحتمل أن تصطدم النجوم فيزيائيّاً في مجرة إهليلجية؛ إذ يتوقع أن تكون مثل هذه الأحداث نادرة جدّاً في المجرات. لكن اللقاءات القريبة بين النجوم يمكن أن تشوش مدارات أية كواكب قد تتوفر عليها.

إن التفاعلات بين المجرات يمكن أن يؤثر أيضاً على صلاحية الحياة. فمثلاً، من المتوقع أن يكون لمجرة أندروميدا لقاء قريب بمجرتنا في ثلاثة مليارات سنة تقريباً. إن مثل هذا الحدث سيطرد معظم النجوم في الأقراص من مداراتها الاعتيادية. ويمكن أيضاً أن يزود الثقب الأسود المركزي لمجرتنا بوقود جديد فيعيده إلى الحياة، مما يجعل المجرة الداخلية شيئاً غير مرغوب فيه، لذلك فإن منطقتنا المجرّية الصالحة للحياة يمكن أن تستمر لثلاثة مليارات سنة فقط. فإن الكثير من النجوم سيقذف في الفضاء البيمجري. ويمكن لأي من السكان الباقين على قيد الحياة في هذه الأنظمة أن يظل آمناً، إلا إذا أصبح قريباً جدّاً من النواة النشطة لمجرة كبيرة. وتؤثر أيضاً، الكثافة المحلية للمجرات على صلاحية الحياة. تشكل مجرة درب التبانة جزءاً من المجموعة المحلية، وهي مجموعة متكونة من خمسة وثلاثين مجرة تقريباً؛ الثلاثة الأولى الكبرى منها مجرات حلزونية، والبقية قزمة صغيرة كروية ومجرات غير منتظمة. ومقارنة بالتراكيز الأخرى للمجرات في الكون المحلي، فإن مجرتنا تبدو متناثرة. تحتوي العناقيد الغنية مثل عنقود العذراء وعنقود كوما، على آلاف المجرات. تعد اللقاءات القريبة بين المجرات، وتسمى بـ«التحرّش المجرّي»، شائعة بين هذه المجرات، والمجرات لا تتحلى بأخلاق جيدة. يمكن أن تفقد المجرات الصغيرة الكثير من الغاز عند اللقاءات القريبة، كسحابتي ماجلان، وكلتاهما مجرتان شاذتان تدوران حول مجرتنا. تساهم حركة المجرات في العناقيد في تسخين الغاز بينهما، الذي يجرد بدوره الغاز من الأقراص الخارجية للمجرات. توجد المجرات الإهليلجية من نوع سي - دي في مراكز العديد من العناقيد الغنية، ويفترض أنها نمت على حساب العديد من المجرات الصغيرة التي لا حظ لها. وبفضل نشاطها النووي المكثف، فإن مثل هذه المجرات الفائقة يمكن أن تكون أي شيء إلا أن تكون أماكن ممتازة للحياة. وبشكل عام، من المرجح أن العناقيد الغنية أقل صلاحية للحياة من المجموعات المتفرقة.

ومن الواضح أن مناطق أخرى من مجرّة درب التّبّانة ومن الكون

القريب، مختلفة تماماً عن موقعنا الحالي. فإنّ قلة من البقاع الباهظة من العقار المجرّي تستجيب للحياة المعقّدة بقدر البقعة الخاصة بنا، دون الكلام عن قيمتها من حيث المراقبة. إنّ منزلنا هذا مثل رواق مريح يمكننا أن ننظر من خلاله إلى نهايات الفضاء وبدايات الزّمن الكوني. وكما سنرى، فإنّ تاريخ الكون لم يعهد زمناً أبداً مثل زمننا هذا.

الفصل التاسع

محلنا في الزمن الكوني

إنّ الذي تحقق في فهمنا للكون خلال القرن العشرين لا يقلّ عن كونه مذهلاً.

ـ مايكل س. تيرنر[١]

الاكتشاف الكوني:

العثور على مكاننا وزمننا:

في العشرينات من القرن العشرين، شرع عالم الفلك الأمريكي **إدوين هابل** (Edwin Hubble) في دراسة دقيقة أدّت إلى إعادة اكتشاف حقيقة الزّمن الكوني. وقد بدأت نوعاً ما كمشروع بحثي عالمي. فكان يدرس باستخدام مرصد هوكر ذو المائة بوصة ـ الأكبر في العالم آنذاك ـ في جبل ويلسون بكاليفورنيا، سديم أندروميدا، ثم وسع عمله إلى غيره، أو ما يسمى بالسُّدُم الحلزونية. ومنذ عهد **إيمانويل كانط** على الأقل، تساءل العلماء عمّا إذا كانت هذه الأجسام بشكل كرة القدم والسّيجارة، قريبة وصغيرة، أم بعيدة وهائلة. فانصبّ حدس كانط إلى أنّها قد تكون «جزراً كونية» في حدّ ذاتها[٢] وبفضل

---

(١) Michael S. Turner, "A Sober Assessment of Cosmology at the New Millennium," *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 113 (2001), 653.

(٢) للاطلاع على تقرير تاريخي مقروء عن اكتشافات هابل والأحداث المؤدية إليها، انظر:

R. Berendzen, R. Hart, and D. Seeley, Man Discovers the Galaxies (New York: Columbia University Press, 1984).

انظر أيضاً: =

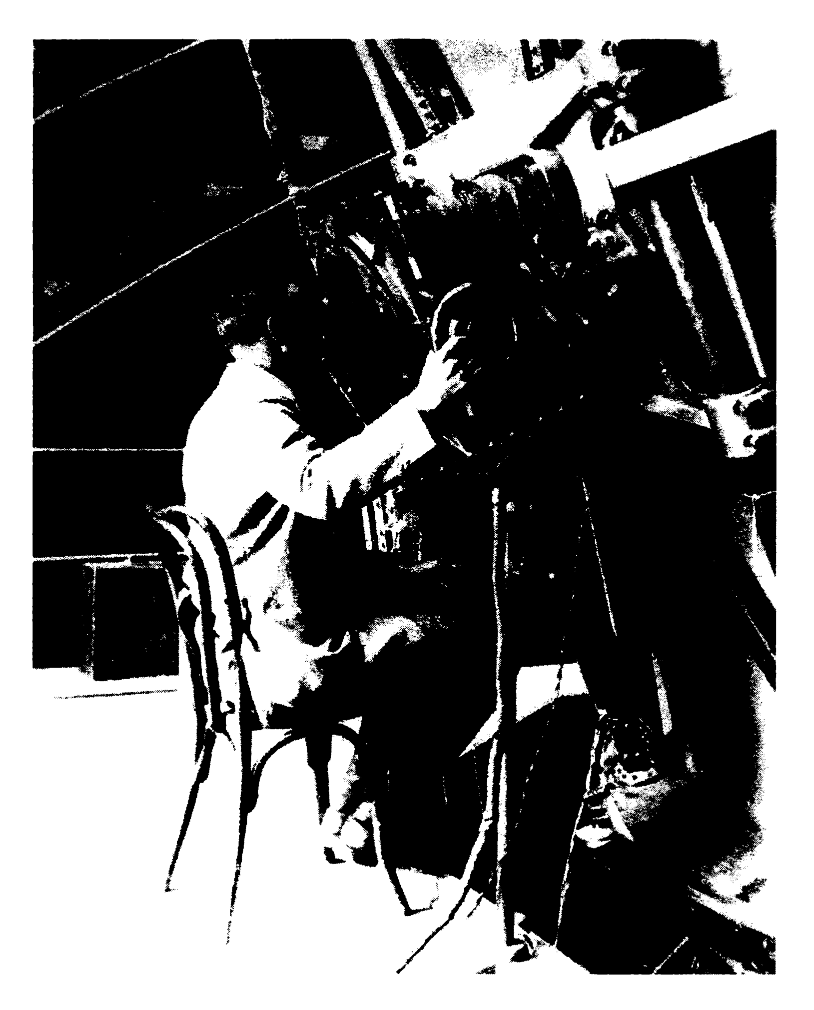
القوة التّلسكوبية ذات الحافّة القاطعة، كان **هابل** قادراً على تحليل النّجوم المتغيّرة القيفاويّة - كنوع من الشّموع القياسية الفلكية - في السّديم الحلزوني M31 (أندروميدا)، M33، ومجرة بيرنارد (NGC 6822). مع مزيد من الدّراسة، لاحظ **هابل** أن أطياف العديد من السّدم تميل إلى أن «الانزياح» باتجاه الطّرف الأحمر طويل الموجة من الطّيف الكهرومغناطيسي، مقارنة بالشّمس والنّجوم القريبة. وبضمّه بيانات الانزياح الأحمر هذه إلى قياسات المسافة، اكتشف في نهاية الأمر أنه كلما كان السّديم بعيداً، كان انزياحه الأحمر أكبر[١] تقترح اكتشافاته إجابات صادمة وثوريّة لثلاث قضايا متنازع فيها في علم الفلك وعلم الكونيّات. أظهرت قياساته لمتغيرات النجوم القيفاويّة أن درب التبانة، خلافاً للافتراض الشائع في ذلك الوقت، لا يصح مساواتها الكون. وبيّنت بعد ذلك أن السّدم الحلزونية مجرّات بعيدة حقّاً، كما كانت مجرة درب التبّانة لتبدو من مسافة بعيدة. (انظر: اللوحة ١٨).

= A. Sandage, "Edwin Hubble 1889-1953," *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* , 83 no. 6 (1989): 351-362.

في العقود اللاحقة انتقل هابل إلى التلسكوب الجديد والأكبر، ذو ٢٠٠ بوصة على جبل بالومار، الذي يقع أيضاً في ولاية كاليفورنيا.

(١) لاحظ الفلكي فيستو سليفر (Vesto Slipher) في وقت سابق انزياحات حمراء وزرقاء مختلفة للأجسام الفلكية، لكن اكتشاف العلاقة بين المسافة والانزياح كان أمراً متروكاً لهابل. وفي عام ١٩١٧م أيضاً، وجد عالم الفلك ويليم دي سيتر (Willem de Sitter) حلولاً ثابتة لمعادلات آينشتاين التي أظهرت الانزياحات الحمراء. ولكن نماذج دي سيتر توقعت تعلقاً تربيعيّاً للانزياح الأحمر بالمسافة، حيث يتنبأ نموذج بسيط للكون المتوسع بارتفاع انزياح أحمر خطي بحسب المسافة. (وقد تطلبت حلوله أيضاً كوناً بدون مادة، واقتراحها قد لا ينطبق على الكون الفعلي، الذي يحتوي على شيء من المادة). كانت الملاحظات الأولى التي نُشرت لهابل في العشرينات كانت غير كافية لاستبعاد هذه النماذج. ولم تصل ملاحظات هابل للمجرات إلى المسافة الكافية حتى عام ١٩٣١م لكي تستبعد نماذج دي سيتر الثابتة. لمزيد من المعلومات حول هذه المذكرة التاريخية المثيرة للاهتمام، انظر:

L. M. Lubin and A. Sandage, "The Tolman Surface Brightness Test for the Reality of the Expansion. IV. A Measurement of the Tolman Signal and the Luminosity Evolution of Early-Type Galaxies," *Astronomical Journal* 122 (2001), 1084-1103.



● **الشكل ٩،١: إدوين هابل، يجلس في كرسي بنتوود، ينظر من خلال مرصد نيوتن ذي المائة البوصة في جبل ويلسون (١٩٢٢م).**

والأهمّ من ذلك وأخيراً، فالاكتشافات مجتمعةً تستلزم أن الكون نفسه كان في توسّع. في لحظة تاريخية لا تدري فيها يدٌ ما تقوم به اليد الأخرى، توقّعت النّظرية النّسبية العامة لـ**ألبرت آينشتاين** سابقاً أن الكون بالفعل إما في توسّع أو انقباض. لسوء الحظ، وجد **آينشتاين** الفكرة مفزعة جدّاً لدرجة أنّه أدخل «عاملاً لا معنى له» (fudge factor)، وهو متغيّر يسمّى بالثّابت الكوني، فعُدِّل نظريّاً للحفاظ على الكون في ثبات وتوازن أبدي. لكن بعد التّعرف على اكتشاف **هابل**، قام **آينشتاين** برحلة واسعة النّطاق إلى كاليفورنيا لرؤية بيانات **هابل** بنفسه. ونتيجة لاكتشافات **هابل** وأعمال **جورج إدوارد لوميتر** (Georges

Ïdouard Lemaître)، وهو كاهن كاثوليكي وفيزيائي روماني بلجيكي تتلمذ على يد **آرثر إدينغتون** (Arthur Eddington) والسوفياتي **أليكساندر فريدمان** (Aleksandr Friedmann) التي استلزمت حلوله بالنسبة إلى نظرية **آينشتاين** توسّع الكون، فندم على ثابته الكوني الشّهير واصفاً إيّاه بأنّه «أعظم خطأ» في مسيرته.

ومثل **آينشتاين**، اعتقد معظم علماء الفلك في أوائل القرن العشرين، بما في ذلك الشابُّ **هابل**، بكون ثابت أبدي. وحتّى بعد أن اعترف آينشتاين بخطئه في أواخر العشرينات، فإنّ العديد من العلماء لم يقبلوا آثار الكون المتوسّع؛ أي: أنّه أتى إلى الوجود في وقت ما من الماضي السّحيق. (أطلق **فريد هويل** (Fred Hoyle)، ـ وهو أحد النّاقدين ـ على هذا الحدث، اسم «الانفجار العظيم» (Big Bang)، فبقي الاسم متداوَلاً). فلننظر على سبيل المثال في البيان الذي يقدّمه **فون فايتزاكر** (C. F. von Weizsäcker) في مناقشة تمّت مع الكيميائي الفيزيائي **فالثر نُغْنسْت** (Walther Nernst) عام ١٩٣٨م:

> قال: إنّ الرّأي القائل بأنّه قد يكون هناك عمر للكون ليس من العلم في شيء. في البداية لم أفهمه. ففسّر أنّ المدّة اللّانهائية للزّمن كانت عنصراً أساسيّاً لكل فكر علمي، وإنكار هذا يعدّ نسفاً للأسس العلمية نفسها. كنت متفاجئاً جدّاً من هذه الفكرة، فغامرت بالاعتراض على أنّ صياغة فرضيات بما يوافق التّلميحات المتاحة من الخبرة أمرٌ علمي، وأنّ فكرة عمر الكون كان ببساطة فرضاً. فردَّ أنّه لا يمكن صياغة فرضية علمية تتناقض مع الأسس العلمية ذاتها. وكان غاضباً فقط، وهكذا فالمناقشة التي استمرّت في مكتبته الخاصة لم تؤدِّ إلى أيّ نتيجة[١]

معظم العلماء يثقون بملاحظات الرصد أكثر من وثوقهم بتعريف **نُغْنسْت**

(١) C. F. von Weizsäcker, *The Relevance of Science* (New York: Harper & Row, 1964), 151.
وكان فايتزاكر في نفس الوقت مساعداً للفيزيائي الألماني الشهير فيرنر هايزنبرغ (Werner Heisenberg). أشير له في:
the introduction to God and Design: The Teleological Argument and Modern Science, Neil A. Manson, ed. (London: Routledge, 2003), 3.

للعلم، فقبلوا في النّهاية نموذج الكون المتوسّع. وقد ساعدت اكتشافات **هابل** بأنْ جاءت في الوقت المناسب تماماً، عندما كان علماء الكون النّظريّين في بداية التّفكير في الخصائص العامة للكون ضمن إطارها الرّياضي الجديد.

كما أنها مثّلت تقارباً مذهلاً بين النّظرية والاكتشاف. في العشرينات من القرن العشرين، كان **لوميتر وفريدمان** أوّل من اقترح نماذج الكون المتوسّع المستمدّة من معادّلات **آينشتاين**. رأى **فريدمان** أن النّسبية العامّة تؤدّي إلى أنّه «في وقت ما من الماضي (بين عشرة وعشرين ألف مليون سنة مضت) وجب أن تكون المسافة بين المجرّات المجاورة منعدمة[١] وكان **لوميتر** أول من وصف نسخة أوليّة من نموذج الانفجار العظيم السّاخن (Hot Big Bang model) (رغم أنه لم يطلق عليه هذا الاسم) فعبر عنها بقوله: «يمكن مقارنة تطوّر العالم بعرض للألعاب النّارية. انتهى للتّو: بعض الحزم الحمراء والرّماد والدّخان. واقفين على جمرة باردة، نرى الخُبُوّ البطيء للشّموس، ونحاول أن نتذكر التّألق الذي اختفى من أصل العالمين»[٢]

الشموع القياسية النجمية:

لكن نظرة **هابل** اعتمدت على اكتشاف مسبق. في عام ١٩٠٨م، كانت **هنريتا ليفيت** (Henrietta Leavitt) تدرس بجد التغيرات الدورية للضوء لمتغيرات النجوم القيفاويّة في سحب ماجلان لمرصد كلية هارفارد. (إن كبرى سحب ماجلان وصغراها هما أكبر مجرات تابعة لمجرة درب التبانة وهي مرئية من نصف الكرة الجنوبي فقط). اكتشفت في نهاية الأمر أن هذه المتغيرات القيفاويّة التي لها فترات أطول كانت أكثر سطوعاً؛ لأن جميع المتغيرات القيفاويّة كانت تقريباً على نفس المسافة من الأرض، فترجم هذا الارتباط بين الفترة والسّطوع الظاهري إلى علاقة بين الفترة والسطوع (الضّياء **المطلق**).

---

(١) نشرت أصلاً بعنوان:

"Über die Krummung des Raumes," *Zeitschrift für Physik* 10 (1922), 377-386.

(٢) Georges /douard LeMaître, *La Revue des Questions Scientifiques*, 4e serie 20 (1931): 391.

وكالمنارات الكونية، تتواصل المتغيرات القيفاويّة بسيطة عبر تراجع وتدفق الضوء: **فالأبطأ هو الأكثر ضياءً**. مدت المجرات التابعة حيث كانت النجوم لا تزال حديثة الولادة، بدلائل حاسمة لاكتشاف علاقة الفترة ـ السطوع (P-L) هذه القيفاويات الكلاسيكية هي النجوم الضخمة التي تستمر لبضعة ملايين من السنوات فقط، لذلك فهي تقيم فقط حيث تتشكل النجوم. وبعد معايرة علماء الفلك لعلاقة P-L من خلال مراقبة بعض المتغيرات القيفاويّة القريبة[١]، وتمكن **هابل** وعلماء الفلك الآخرون من تحديد المسافات التي تبعد بها السدم الحلزونية. كانت هذه القيفاويات طويلة الفترة ـ خمسين يوماً تقريباً ـ من بين النجوم المعروفة الأكثر سطوعاً. ولهذه الأسباب كانت أولى الشموع القياسية العملية خارج المجرّية. ومع الأدلة التي يتأسس عليها علم الكونيات الحديث، لو كان موقعنا مختلفاً، لما كان بإمكاننا رؤيتها على الإطلاق.

ذكرنا في الفصل السابع أن الفلكيين استخدموا النسق الأساسي الضخم للنجوم كشموع قياسية. وفي أوائل القرن العشرين، حظي علماء الفلك مثل **هارلو شابلي** ببعض النجاح في تقدير مسافات مع النجوم المتغيرة منخفضة الكتلة المعروفة باسم RR Lyraes[٢] لكن لا شيء يمكنه أن ينافس المتغيرات القيفاوية[٣] كان **هابل** قادراً على قياس أسطع متغير قيفاوي كلاسيكي في

---

(١) إذا اعتبر المرء علاقة المتغير القيفاوي Cepheid P-L بوصفها معادلة خطية بسيطة بثابتة وميل، إذن فإن الثابتة هي «نقطة الصفر». يتم معايرة هذه النقطة بواسطة عمليات رصد المتغيرات القيفاوية على مسافات معروفة.

(٢) تتميز نجوم RR Lyrae المتغيرة بفترات نبض نمطية تقترب من نصف يوم. بخلاف المتغيرات القيفاوية، تتوفر جميع متغيرات RR Lyrae على نفس متوسط السطوع، باستثناء تعلق ضعيف بالمعدنية. وهي موجودة في العناقيد الكروية وهالة المجرة.

(٣) ومع أن منحنيات الضوء الخاصة بالمتغيرات كانت محددة، فات عن علماء الفلك في النصف الأول من القرن العشرين أن يلاحظوا أن هناك بالفعل فئتين من المتغيرات القيفاوية: التجمع I (أو الكلاسيكي، أو النوع I) والتجمع II (أو النوع II). وتنحدر الأسماء غالباً من الأعمار النجمية، فيكون التجمع I أصغر عمراً من التجمع II. توجد نجوم التجمع II في المجرات الإهليلجية وهالات المجرات الحلزونية، بما في ذلك عناقيدها الكروية. ويتميز المتغير القيفاوي الكلاسيكي بكونه أكثر إضاءة بحوالي أربع مرات من متغير قيفاوي من التجمع II من فترة النبض نفسها. وبما أن العمر =

أندروميدا. ومنذ ذلك الحين، لاحظها الفلكيون الذين يتوفرون على مراصد ومكاشف أفضل في مجرات بعيدة أكثر من أي وقت مضى، فمكّنهم هذا الامتداد من تنقيح العلاقة بين المسافة والانزياح الأحمر.



● **الشكل ٩،٢: آلبرت آينشتاين (١٨٧٩ ـ ١٩٥٥م).**

خلص الفلكيّون على مدى السنوات الخمس أو الست الماضية، إلى أن المستعرات العظمى من نوع Ia شموع قياسية جيدة بشكل استثنائي. كما فصلنا في الفصل السابق، فإحدى الحالات النهائية لنجم معتدل الكتلة في نظام ثنائي هو المستعر الأعظم من نوع Ia الذي يمكن أن ينفجر بعد مليار سنة تقريباً بعد ولادة سلفه. وهذا يعني: أن المستعر الأعظم من نوع Ia يمكن أن يرى في مجرات حيث توقفت النجوم عن التشكل. وهي ساطعة للغاية، بحيث يطغى تألقها كل النجوم الأخرى في مجراتها المضيفة لبضعة أسابيع. وبما أنها تحدث في المجرات القريبة والبعيدة، وفي الحلزونية والإهليلجية فإنها تحقق جزءاً مهمّاً من الكون المرئي.

= النموذجي للمتغيرات القيفاوية الكلاسيكية يقدر بحوالي بضعة ملايين من السنين، ولا توجد إلا في المجرات التي تستمر النجوم فيها بالتشكل (في مجرة درب التبانة ومجرات أندروميدا، تعتبر المتغيرات الكلاسيكية أكثر شيوعاً من متغيرات التجمع II). وقد أدى اكتشاف هذا الاختلاف في الخمسينات إلى تصحيح المسافات إلى المجرات. تمتلك المتغيراتِ الكلاسيكية ومتغيرات التجمع II بعلاقات P-L مختلفة.

بمجرد أن اكتشف علماء الفلك متغيراً قيفاوياً كلاسيكياً أو مستعرّاً من نوع Ia في مجرة، يصبح بإمكانهم تحديد مسافته. وتعتمد وثوقية هذا التحديد بشكل كبير على «مدى قياسية» الشموع القياسية ومدى دقة معايرتها. ولمعايرة شمعة قياسية كونية، ينبغي على الفلكي أولاً أن ينشئ «سلم المسافات»، ويُعد سطح الأرض أدنى درجة على هذا السلم. يتلوه القمر ثم مدار الأرض، الذي يعمل بمثابة الخط الأساس لقياسات التزيح النجمي. وما إن يتمكن الفلكيون من تحديد المسافات التي تبعد بها بضع «الشموع الثانوية» المضيئة من تزيحاتها وغيرها. وبطرق غير مباشرة، فإنه سيغدو بإمكانهم تحديد مسافات هائلة[١] ومعايرة أنواع أخرى من الشموع القياسية[٢]

---

(١) يستطيع علماء الفلك اليوم أن يحددوا المسافات إلى المجرات التي تحتوي على المتغيرات الكلاسيكية إلى حوالي ١٠ في المئة من الارتياب في حوالي عشرين ميغابارسيك ـ خمسة وستين مليون سنة ضوئية تقريباً ـ بيد أن مستعرات Ia يمكن أن تسفر عن قياسات للمسافة إلى مجرات أبعد بكثير وبدقة مماثلة. تتضمن قيمة هذا الارتياب أخطاء منهجية، تنشأ في الغالب من معادلات المعايرة المعروفة بشكل ناقص. على سبيل المثال، تدخل الارتيابات في المسافات إلى السحب المجلانية في حسابات الارتياب للمسافات المتعلقة بالمتغيرات القيفاوية. للاطلاع على تحليل نموذجي لأخطاء الرصد في المتغيرات القيفاوية الموجودة في المجرات القريبة، انظر:

B. F. Madore et al., "The Hubble Space Telescope Key Project on the Extragalactic Distance Scale. XV. A Cepheid Distance to the Fornax Cluster and Its Implications," *Astrophysical Journal* 515 (1999). 29-41.

يمكن أن يكون الارتياب الجوهري للمسافة إلى مجرةٍ بالاعتماد على منحنيات الضوء المتعددة الألوان لمستعرات Ia صغيراً بقدر ٥ في المئة. ومع ذلك، وبما أن المتغيرات القيفاوية الكلاسيكية تشكّل الأساس لمعايرات مسافة المستعرات Ia، فإن المسافات المطلقة القائمة على مستعرات Ia ليست أصغر. من ناحية أخرى، تقارن بعض التجارب مستعرات Ia القريبة بالمستعرات البعيدة، التي تُعدّ أقل حساسية لمعايرات المتغيرات القيفاوية. لمزيد من المعلومات حول فائدة مستعرات Ia كشموع قياسية، انظر:

A. G. Riess, W. H. Press, and R. P. Kirshner, "A Precise Distance Indicator: Type Ia Supernova Multicolor Light-Curve Shapes," *Astrophysical Journal* 473 (1996), 88-109.

(٢) يستخدم الفلكيون أيضاً، أحياناً، النجوم التي لا يتغير سطوعها كشموع قياسية. وكما أشرنا سابقاً، يمكن للفلكيين أن يلاحظوا نجوم B، بكُتَل مماثلة للمتغيرات القيفاوية الكلاسيكية، في أنحاء متعددة من مجرة درب التبانة. والإشكال في الشموع القياسية غير المتغيرة هو أن الفلكيين يحتاجون إلى مزيد من المعلومات، الفوتومترية أو الطيفية، ليكونوا على يقين من التحديد. إذا كان النجم المرشح في مجرة بعيدة، فإنه سيكون من السهل إلى حدٍّ ما الخلط بينه وبين نجوم أخرى لم يُبتّ فيها؛ والشيء الذي يبدو وكأنه نجم واحد قد يكون بدلاً من ذلك عدة نجوم قريبة جدّاً بحيث يتعذر التمييز بينها. =

اكتشاف صدى الإبداع:

وبينما كان معظم علماء الفلك مقتنعون بملاحظات **هابل** أن الكون كان يتمدد وأن هذا يستلزم أن له بداية، فإن قلةً منهم تأبى الخروج عن الماضي الأبدي. يقول **إدينغتون**، متحدثاً بالنيابة عن الكثيرين: «إن فكرة البداية في ظل النظام الحالي للطبيعة من الناحية الفلسفية أمر بغيض»[(١)]

في أوائل الثلاثينات من القرن الماضي، ظل **إدينغتون** يعارض فرضية **لوميتر** عن بداية كثيفة وساخنة. بدلاً من ذلك، آثر الكون مع ثابتة كونية سقطت من التوازن من حالة ثابتة أبدية لصالح التوسع. عانى نموذج **إدينغتون** من مشاكل منطقية واضحة، لذلك قبل معظم علماء الفلك بشكل اضطراري نموذج **لوميتر**. جاء أول تحدٍّ جاد أمام ماض محدود سنة ١٩٤٨م، عندما اقترح **هيرمان بوندي**، **توماس غولد**، **وفريد هويل** بشكل مستقلٍّ نماذج الحالة الثابتة (Steady State models)، التي تفترض تشكل المادة التي تظهر بشكل تلقائي في الفضاء بين المجرات مع توسع الكون. ما من شأنه الحفاظ على ثبات كثافة المادة على نطاق واسع واستيعاب الملاحظات الكون المتوسع. ولكنه يتجنب الفكرة المزعجة للبداية. تصف الحالة الثابتة كما يوحي الاسم، الكون دون تغير كبير على متوسط فترات زمنية طويلة. على مدى عقود، لم يكن هناك أي دليل مباشر يسمح لعلماء الفلك بأن يقرروا بين نموذجي الانفجار العظيم والحالة الثابتة.

ومع ذلك، ففي عام ١٩٦٥م، لاحظ مهندسان اثنان من مختبرات بل، **أرنو بنزياس** (Arno Penzias) **وروبرت ويلسون**، ضجة زائدة في هوائي

= وعلى الرغم من ذلك، فإن مطال ضوء النجم المتغير يوفر مراجعة متضمنة للنجوم الملوّثة المحتملة. تنبض النجوم المتغيرة من نوع معين مع مطال معين للضوء. إذا كان يتموقع نجم مضيء قريباً جدّاً من نجم متغير بحيث يتعذر فصلهما، فإن ضوءه سيتحد بالضوء القادم من النجم المتغير. وسيؤدي هذا إلى أن يظهر مطاله الضوئي أصغر. وسيوصف النجم المتغير الذي لوحظ أن له مطال ضوء صغير بشكل غير طبيعي، على الفور، كمشتبه به ويحذف من الاعتبار.

(١) Arthur Eddington, "The End of the World: From the Standpoint of Mathematical Physics," *Nature* 127 (1931), 447.

الراديو بطول موجي يقدر بسبعة سنتيمترات. فوجدوا أنه يأتي من جميع اتجاهات السماء بشدات متساوية، ولم يستطيعوا عزوها لأي من مصادر الإشعاع المعروفة. وسرعان ما فسّر علماء الكون هذه النتيجة على أنه إشعاع الخلفية الذي طال انتظاره من الانفجار العظيم، الذي توقعه بعض الفيزيائيين فعلاً دون علم **بنزياس وويلسون**. (لأنه تم الكشف عنها في الجزء المِكْرَوِي من الطيف الكهرومغناطيسي، وتسمى بإشعاع الخلفية الكونية الـمـيـكـروي (cosmic microwave background radiation) أو (CMBR) اختصاراً. ورغم أننا نميل إلى ربط «الميكروويف» بالماء المغلي والفشار المحروق، فإن طيف الإشعاع الخلفي يتوافق مع جسم أسود باعث فوق الصفر المطلق ب٢,٧ـ درجة). ولأن اكتشاف **بنزياس وويلسون** كان تنبؤاً لنموذج الانفجار العظيم الساخن لا لنموذج الحالة الثابتة، فإنه بدا كَدَقَّةِ نعي لهذه الأخيرة.

قدم **رالف ألفر، وجورج غامو، وروبرت هيرمان** أول صورة حديثة للإشعاع المتبقي من الانفجار الكبير في أواخر الأربعينات من القرن الماضي؛ إذ فهموا أن نماذج الكون المتوسع تنطوي على كثافة أكبر وزمن أكثر حرارة في الماضي البعيد، وأنه إذا عدنا بعيداً بما فيه الكفاية، فإنّنا سنجد الزّمن الذي مَنعت فيه كثافةُ المادّة التّدفّق الحُرّ للفوتونات، عندما كان الإشعاع والمادة في «توازن حراري». وكان الضغط والحرارة عاليين بما فيه الكفاية لتأين معظم الهيدروجين، العنصر الأكثر وفرة. وقبل ذلك، لم تسافر الفوتونات بعيداً قبل أن تتناثر بواسطة الإلكترونات الحرة. بمعنى ما، «تصَوَّع» الإشعاع عن المادّة بعد انضمام البروتونات والإلكترونات مجدداً. سافرت معظم الفوتونات (فوتونات الخلفية الكونية الميكروية) المنتجة خلال حقبة التّصَوُّع (decoupling era) ـ عندما كان الغاز في الكون حوالي أربعة آلاف درجة كلفن (٦,٧٠٠ درجة فهرنهايت) ـ دون عائق مع استمرار الكون في التوسع. ومنذ ذلك الحين، مدد توسع الفضاء والزمن الفوتونات، مزيحاً إياها للأحمر ألف مرة تقريباً. كانت فوتونات الخلفية الكونية الميكروية هذه ـ

الأقدم في الوجود ـ تجتاز الفضاء والزمن معظم تاريخ الكون. وهكذا، يطلق على سماء الخلفية الكونية الميكروية أحياناً اسم سطح التّشتّت الأخير (the surface of last scatter)؛ لأنه يمثل آخر مرة تتفاعل فيها هذه الفوتونات بقوة مع المادة قبل انطلاقها في رحلتها الطويلة.

تشير النماذج الحالية إلى أن فوتونات الخلفية الكونية الميكروية قد تم تحريرها بعد ٣٨٠,٠٠٠ سنة من حدث الانفجار العظيم. فاستغرق من الكون هذه الفترة الزمنية كلها لكي يتوسع ثم يبرد بما فيه الكفاية لتتحد البروتونات مع الإلكترونات لتشكيل الهيدروجين المحايد. وحافظ هذا التوسع الكوني على شكل طيف إشعاع الخلفية الكونية الميكروي الذي يعد دليلاً حاسماً بشأن أصله. وهذا لأن الكون اليوم منفذ جدّاً للفوتونات حتّى يكون إشعاع الخلفية مُنتجاً بشكله الحالي؛ بعبارة أخرى؛ فالإشعاع بعيد جدّاً عن التوازن مع المادة في الكون الحالي لتفسير أصله. يشير إشعاع الخلفية الحالي إلى زمن كان الكون فيه أكثر كثافة وأكثر سخونة.

لم تفشل نماذج الحالة الثابتة في التنبؤ بإشعاع الخلفية فقط، فحتى الملاحظات الأخيرة تبيِّن التطور العكسي للمجرة مع المسافة. عندما ننظر أبعد وأبعد إلى الفضاء، فإننا حقّاً نعود بالزمن إلى الوراء. وكلما دققنا النظر أعمق وأعمق في الماضي، فإننا نرى المجرات في مراحل مبكرة جدّاً ـ وهو بالضبط ما نتوقعه إذا ما تحققت صحة نظرية الانفجار العظيم. نرى في الصور الشهيرة الملتقطة بواسطة مرصد هابل الفضائي التي تدعى **بحقول هابل العميقة** (Hubble Deep Fields)، المجرات التي تضعها انزياحاتها الحمراء بحوالي تسعة مليارات سنة ضوئية. وهذا أننا لا نرى المجرات البعيدة في حالاتها «الحالية» بل كما كانت موجودة قبل تسعة مليارات سنة. وبالمثل، فإن إشعاع الخلفية يسلم المعلومات حول الكون حديث الولادة؛ حيث يصف **جون بارو وفرانك تيبلر** أهمية هذا بقولهما:

> لقد تبيّن أن إشعاع الخلفية هو نوع من «حجر رشيد» (Rosetta stone) الكونيّ، الذي نحت عليه سجلّ التّاريخ الماضي للكون في المكان والزّمان.

وبتفسير البنية الطّيفية للإشعاع يمكننا أن نكشف الأحداث العنيفة في الماضي البعيد للكون[١].

وفي الوقت نفسه، فإننا نعلم شيئاً بشأن توسع الكون؛ لأن المكان والزمن المتغيرين غيّرا من فوتونات الخلفية الكونية الميكروية في طريقها إلينا. يقيم علماء الكون بشكل خاص التقلبات الخفية في شدة إشعاع الخلفية عبر السماء وبالتالي في درجة حرارته. تشكل هذه التقلبات التي أنتجتها الموجات الصوتية المتجولة عبر الغاز المتأين قبل التّصَوُّع مصدراً غنيّاً بشكل غير متوقع للمعلومات المشفرة عن الكون المبكر. كانت هناك مناطق مرتفعة ومنخفضة الكثافات الغازية ودرجات الحرارة التي تبدو لنا واضحة اليوم كتغيرات في سطوع سطح إشعاع الخلفية في السماء. (انظر: اللوحة ١٩). وهي مثل المعلومات التي نكتسبها حول البنية الداخلية للشمس عن طريق دراسة التذبذبات على سطحها، إلا أن إشعاع الخلفية لقطة من الزمن. يمكن لعلماء الكون أن يستخرجوا عشرة بارامترات كونية على الأقل ـ وهذا يعني: الخصائص العامة للكون ـ من هذه التغيرات[٢].

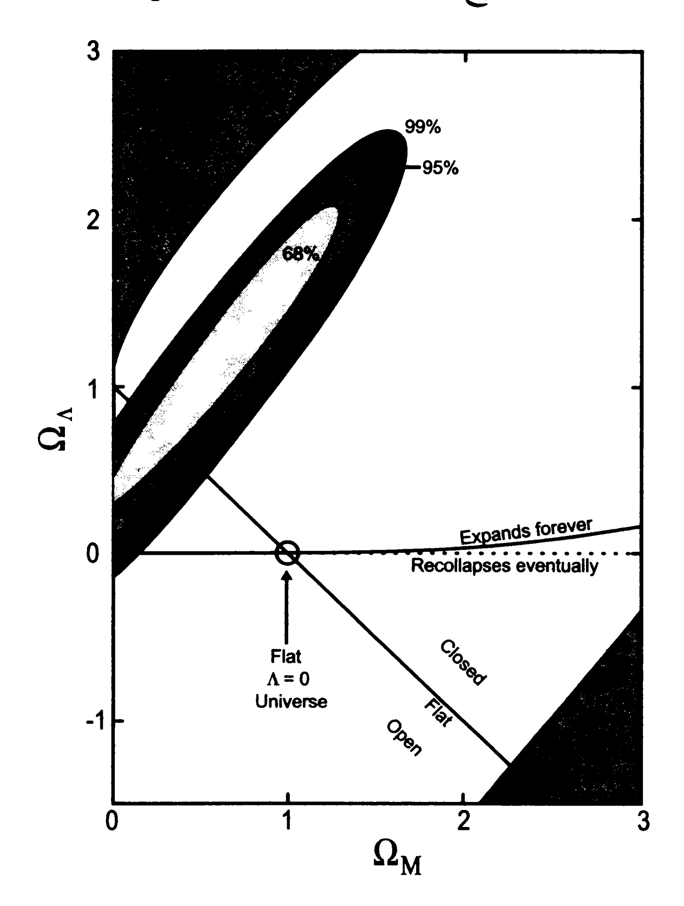
لكن بما أنها لا تكشف تماماً كل الخصائص الكونية، فإن هذه البيانات لا تجعل الملاحظات الأخرى ملغية. فمثلاً، لا تزال المستعرات من نوع Ia مفيدة بشكل خاص؛ لأنها تفحص بدقة الكثير من الكون الملاحظ. من بين أهم الخصائص الكونية نجد ثابت هابل، كثافة المادة ـ الطاقة، والثابت الكوني، ويسمى أيضاً بكثافة الطاقة ـ الفراغ. يُعد ثابت هابل المعدل الحالي للتوسع في الكون الذي يحدده علماء الفلك عن طريق قياس المسافات

---

(١) J. D. Barrow and F. J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* 'Oxford: Oxford University Press, 1986),380.

(٢) ويسمى قياس هذا الطيف: «طيف القدرة الزاوية لـCMBR». ومن بين مقادير أخرى، يمكن لطيف القدرة لـCMBR أن يساعد الفلكيين على تقدير ما يلي: انحناء الكون (مسطحاً أو مفتوحاً أو مغلقاً)، وكثافة الطاقة المادة، وكثافة الطاقة المظلمة (الثابت الكوني)، وكتلة النيوترينو، والانزياح الأحمر لإعادة التأين، وعمر الكون، وثابت هابل. للاطلاع على تحليل مفصل لبيانات CMBR، انظر:
M. Tegmark and M. Zaldarriaga, "Current Cosmological Constraints from a 10 Parameter Cosmic Microwave Background Analysis," *Astrophysical Journal* 544 (2000), 30-42.

والانزياحات الحمراء للمجرات. كثافة المادة ـ الطاقة هي في الأساس الكمية الإجمالية للمادة والطاقة في الكون ـ دون احتساب الطاقة المظلمة أو طاقة الفراغ ـ التي نميزها من انبعاثاتها الضوئية وآثارها الجاذبية. أما ثابت الكون، أو طاقة الفراغ فهو أكثر غموضاً. ورغم أن أغلبنا يفكر في الفراغ كعدم نقي، إلا أن الفراغات في الكون تحتوي على الطاقة، التي تستطيع فعلاً أن تتصدى للتجاذب الثقالي على نطاق واسع. تمكن علماء الفلك مؤخراً من آثارها انطلاقاً من ملاحظات الشموع القياسية البعيدة. سنناقش هذا أدناه.



● الشكل ٩,٣: اثنان من أهم البارامترات الكونية لفهم هندسة الكون وهي: كثافة الطاقة ـ المادة (Ω_M) وكثافة الطاقة ـ الثابت الكوني (Ω_Λ). توجد منطقة المخطط المقيدة ببيانات المستعرات العظمى من نوع Ia (المنحنيات الدائرية) في زوايا قائمة مع المنطقة المقيدة ببيانات الخلفية الميكروية (قرب الخط «المسطح»). وبسبب هذا، تكمل المجموعتين من البيانات بعضها البعض في تحديد قيم هذين البارامترين.

لتمييز هذين الأخيرين، فإن البيانات المنتقاة من المستعرات العظمى من نوع Ia هي مكملات مثالية تقريباً لبعض البيانات المستمدة من إشعاع الخلفية(١) فلا يوجد شيء زائد عن الحاجة؛ لأن مجموعتي البيانات مجتمعة تضيق إلى حدٍّ كبير القيم الممكنة لهذين البارامترين المهمين. يسمح هذا التضييق بالاستخدام الأكثر كفاءة لما نقوم به من قياسات، ويبين أن المادة المرئية كلها تعيننا على معرفة الكون(٢) كما أن التوزيع الملاحظ للمجرات يملأ الثّغرات في المعلومات التي يتركها هذان المصدران.

الخليط الكوني:

في أوائل الأربعينات من القرن العشرين، لم يعرف أحد أصل العناصر الكيميائية. وحينما استقر علم كونيات الانفجار العظيم على المشهد أدرك منظروه أن الكون برد بسرعة كبيرة بما لا يسمح لتشكيل أي شيء بعد الليثيوم. كان الهيدروجين والهيليوم يسودان الكون في كليته. لكن من أين جاءت كل العناصر الأخرى؟

في النهاية، استنتج علماء الفيزياء الفلكية أن العناصر الأثقل من الليثيوم تم إنتاجها داخل النجوم (مباشرة) بعد الانفجار العظيم. وبحلول أواخر الخمسينات من القرن العشرين عملوا على عدة تفاصيل من هذه النظرية، المسماة التخليق النووي النجمي (stellar nucleosynthesis).

في الآونة الأخيرة، أكدت مقارنة الوفرة الملاحظة للهيليوم مع الهيدروجين في المجرات قليلة المعدنية، والديوتيريوم في سحب لايمان ألفا (Lyman-alpha clouds)، (انظر: أسفله)، والليثيوم في النجوم القريبة قليلة المعدنية، ما تم توقعه من نماذج الانفجار العظيم. بمعنى ما، فالوفرة الكونية لنظائر عنصر

---

(١) تحديداً من طيف القدرة لـCMBR. انظر: الشكل ٧ للدراسة المهمة.

Perlmutter et al., "Measurements of Omega and Lambda from 42 High Redshift Supernovae," *Astrophysical Journal* 517 (1999), 565-586.

(٢) لاحظ أن المادة والإشعاع يمُدّاننا بمعلومات ليس عن محيطهما المحلي المباشر فحسب بل أيضاً عن المعايير العالمية للكون. وعلى سبيل المثال، فإن الضوء الذي نلاحظه من المستعرات العظمى لا يخبرنا عن المستعرات نفسها فحسب بل أيضاً عن مجرته المضيفة وعن الخصائص الإجمالية للكون.

خفيف هو نوع من المراصد التي تستطيع أن تدقق فيما وراء الزمن الذي تشكل فيه إشعاع الخلفية. ثم انضمت فيزياء الجسيمات وعلم الكونيات إلى لحظات ما بعد الانفجار العظيم. فلدينا إذن ثلاث ملاحظات مستقلة كلها تقدم الدعم لنظرية الانفجار العظيم: علاقة الانزياح الأحمر للمجرة الخاصة **بهابل**؛ إشعاع الخلفية الكونية الميكروي؛ والوفرات النسبية لنظائر عنصر خفيف.

المزيد من اختبارات التوسع الكوني:

أمدّ اكتشاف إشعاع الخلفية وقياس وفرات العنصر الخفيف نظريةَ الانفجار العظيم بدعم إضافي، لكنّه لم يُثبت بشكل واضح أنّ الانزياحات الحمراء الملاحظة ترجع إلى التّوسّع الكوني. ولحسن الحظ، يوفِّر كوننا اختبارات إضافية للنّظرية، التي تمكّن فلكيّو الأرض حقّاً من الوصول إليها.

ربما يكون عالم ومراقب الكونيات، **الآن سانديج** (Allan Sandage)، الذي يعمل في مراصد مؤسسة كارنيغي في واشنطن في باسادينا، معروفاً لسعيه عقوداً طويلة من أجل تقدير دقيق لثابت **هابل**. وله مسعى آخر وهو اختبار مستقلٌّ عن التوسع الكوني. وكان **ريتشارد تولمان** (Richard Tolman) أول من اقترح اختباراً من هذا القبيل في عام ١٩٣٠م والذي يقدم تنبؤاً حاسماً[١]، أكده سانديج مؤخراً مع رصد أربعة وثلاثين مجرة باكرة[٢] وفي الوقت نفسه كان **سانديج** قادراً على إقصاء «فرضية الضوء المُرهق» (tired light hypothesis)، التي تفترض أن الانزياحات الحمراء تنتج من الفوتونات التي تفقد الطاقة على مسافات شاسعة، من خلال إبراز أن المجرات لا تتغير مع الانزياح الأحمر كما توقعت الفرضية.

---

(١) يتنبأ هذا الاختبار بأن سطوع سطح المجرة يجب أن ينخفض بمقدار $(z+1)^4$، حيث z هو الانزياح للأحمر.

R. C. Tolman, "On the Estimation of Distances in a Curved Universe with a Non-Static Line Element," *Proceedings of the National Academy of Sciences 16* (1930): 511-520.

(٢) L. M. Lubin and A. Sandage, "The Tolman Surface Brightness Test for the Reality of the Expansion. IV. A Measurement of the Tolman Signal and the Luminosity Evolution of Early-Type Galaxies," *Astronomical Journal* 122 (2001), 1084-1103.

وقد أكدت ثلاثة اختبارات أخرى حقيقة التوسع الكوني. يتحدد أحدها من خلال الاتّساع الواضح لمنحنيات ضوء مستعرات Ia البعيدة مقارنة بالقريبة منها. هذا يعني: أن الضوء الصادر من المستعر الأعظم البعيد يبدو أنه يصغر ويكبر ببطء أكبر من الضوء الصادر عن القريب. وفقاً للنموذج القياسي للانفجار العظيم، تعزى هذه الظاهرة إلى الإبطاء الزمني (time dilation). يترك الكون خلفه، مع توسعه، «علامات التمدد» في النسيج الزمكاني. وتم إثبات هذا الإبطاء الزمني لأول مرة سنة ١٩٩٥م من منحنيات السوبرنوفا الخفيفة(١)

بينما ينطوي الاختباران الآخران على إشعاع الخلفية الكونية الميكروي: أكد أحدهما تغير درجة حرارته بدلالة الانزياح الأحمر(٢)، والآخر شكل الطيف الخاص بها(٣) وجميع هذه الاختبارات ممكنة عدا واحداً فقط لأنّنا

---

(١) وعلى وجه التحديد، تنبأت النسبية العامة التي تُذيِّل نموذج الانفجار العظيم، أن الإبطاء الزمني ينبغي أن يزداد بقدر (z^1 +). وهذا يعني: أن المستعر الأعظم عند انزياح أحمر قدره ١ سيستغرق ضعف المدة لكي يمر بالتغيرات في درجة السطوع كمستعر قريب. يُناقض أيضاً الاتجاهُ الملحوظ لتزايد الإبطاء الزمني مع الانزياح للأحمر نظريةَ الضوء المُرهق، الذي لا يتنبأ بأي تأثير للإبطاء الزمني. وأحدث تطبيق لهذا الاختبار الكوني هو:

G. Goldhaber et al., "Timescale Stretch Parameterization of Type Ia Supernova B-band Light Curves," *Astrophysical Journal* 558 (2001), 359-368.

(٢) تقدم الدراسات التالية تقريراً عن قياسات درجة حرارة الخلفية المكروية عند قيم كبيرة للانزياح الأحمر:

P. Molaro, S. A. Levshakov, M. Dessauges-Zavadsky, and S. D'Odorico, "The Cosmic Microwave Background Radiation Temperature at zabs = 3.025 toward QSO 0347-3819," *Astronomy & Astrophysics* 381 (2002), 381. L64-L67 and R. Srianand, P. Petitjean, and C. Ledoux, "The Cosmic Microwave Background Radiation Temperature at a Redshift of 2.34," *Nature* 408 (2000), 931-935.

وقد استخدمت كلتا الدراستين خطوط الامتصاص (عند) «الانتقال في البنية الدقيقة» للكربون المحايد والمؤيّن مقابل ضوء كوازارات الخلفية. وتعليقاً على عمل سرياناند (Srianand) وآخرون، قدّم جون باهكال (John Bahcall) ملاحظته: «توشك الطبيعة أن تبدو كما لو أنها ثَبَّتَت دلائل وافرة في هذه السحابة المجهولة لكي تسمح لبعض الباحثين المحظوظين باستنتاج درجة حرارة CMB عندما كان عمر الكون صغيراً»

("The Big Bang Is Bang On," *Nature*) 408 (2000), 916.

كان باهكال منذهلاً من أن خصائص السحابة التي درسها سرياناند وآخرون يمكن أن تتضافر لتسمح لهم بقياس درجة حرارة الخلفية وأن تقصي التفسيرات الأخرى محتملة للملاحظات.

(٣) انظر: Lubin and Sandage, "The Tolman Surface Brightness Test," 1086.

نستطيع رؤية المجرّات الأخرى. أتاح الوصول إلى هذه المجرّات البعيدة لعلماء الكون إقصاء عدّة نماذج نظرية للكون. يا لها من خسارة كانت لتكون لِروحِنا الفضولية لو أنّنا لم نستطع أن نختار بين نموذجي الحالة الثّابتة والانفجار العظيم. وقد أحدثت حقيقة أن زماننا ومكاننا في الكون لم يكونا متوافقين بشكل دقيق من أجل الحياة فحسب بل للمراقبة أيضاً ـ في حل أهمّ الأسئلة حول الكون ـ كلّ الفرق.

النجوم الزائفة (Quasars) والمادة المتداخلة: سجل تاريخ كوني:

النّجوم الزّائفة نوع آخر من المسابير المفيدة في الكون البعيد؛ لأنها تخبر عن فترة زمنية بعد تصوّع المادّة والإشعاع. تعدّ هذه المنارات القوية الأجسام الأكثر إضاءة وبُعداً في الكون المرئي. كان يعتقد أنّ النّجوم الزّائفة عبارة عن مجرّات في مراحلها الأولى، عندما كانت ثقوبها السّوداء المركزية تنمو بسرعة بتراكم الغاز. قبل اختفائه، يشكّل الغاز حول الثّقب الأسود قرصاً حارّاً جدّاً يزداد سطوعاً، وهو الذي يجعل النّجوم الزّائفة ساطعة للغاية حتى مسافات شاسعة.

تخبرنا النجوم الزائفة عن المادّة المتداخلة كما تخبرنا عن نفسها. عندما يسافر ضوء من نجم زائف عبر الفضاء والزمن، تمتصّ سحب الغاز على طول طريقها بعضاً منه. فتطبع خطوط الامتصاص في طيفه. يعتمد الطّول الموجي المحدّد للامتصاص على كمية التّوسع الكوني بين النّجوم الزّائفة للخلفية والغاز الممتصّ للضّوء، وعلى السّرعات النّسبية بينهما، بدرجة أقلّ. تصدر النّجوم الزّائفة الضّوء بقوة أكبر في الجزء فوق البنفسجي من الطّيف، بينما يمتص الغاز المتدخل بقوة أكبر في بقعة مميزة في الطيف الكهرومغناطيسي تسمى لايمان ـ ألفا، بسبب الانتقال الذري في الهيدروجين المحايد. في المختبرات، يقدر طوله الموجي بـ ١,٢١٦ أنغستروم ـ فوق البنفسجي البعيد. ولكن بنظرنا إلى السماوات من نقطة مراقبتنا فلكل سحابة غازية متدخلة أو مجرة انزياح أحمر مختلف وبالتالي فهي تنتج خط امتصاص ليمان ألفا بطول موجي **مختلف**. تنتج السّحب الغازية المتدخلة والمجرات مجتمعة «غابة» من

اللايمان - ألفا من خطوط الامتصاص[1] تقدّم هذه الغابة الكونية، شأنها في ذلك شأن الغابات المستحجرة القديمة على الأرض، سجلاً أحفورياً منظّماً زمنيّاً للتّاريخ الكوني. يزيح التّوسع الكوني الغابات فوق البنفسجية بشكل ملائم، إلى منطقة من الطّيف؛ حيث يصبح الغلاف الجوي للأرض شفّافاً (بِدءاً من ٣٠٠٠ أنجستروم). فيسمح هذا الظّرف الملائم، للفلكيين بدراستها من المراصد الأرضية. يمكن للكون المنقبض أن يزيح خطوط الامتصاص إلى النّهاية فوق البنفسجية البعيدة من الطّيف، فيجعلها غير مرئية من الأرض[2]

العمر الكوني الصالح للحياة:

تحدثنا عن النطاق الصالح للحياة في نظامنا الشمسي والنطاق المجري الصالح للحياة واسعة النطاق لكن لا يزال هناك نطاق أوسع يمكن أن نسميه العمر الكوني الصالح للحياة (Cosmic Habitable Age-CHA). حين نعتبر الخصائص الكونية للكون الممكن رصده، فإن العمر أساسي أكثر من الموقع. ليست كل الأماكن والأزمان حول نجم أو داخل مجرة حلزونية صالحة للحياة بشكل متساوٍ وعلى نحو مشابه فليست كل أطوار الكون العمرية صالحة للحياة على نحو متساوٍ[3] ويظهر هذا جليّاً في الكون المبكر جدّاً قبل التّصَوُّع. حيث كان الكون في هذه الحقبة بلازما ساخنة وكثيفة من الجسيمات الأولية والنوى الخفيفة، والنجوم لم تؤلف بعد العناصر الثقيلة التي تشكل أجسادنا. كانت بيئة معادية بشكل رهيب لأي نوع من الحياة. ولكن البداية لم تكن المكان المقفر

---

(١) تحتوي العديد من الغيوم الغازية أيضاً، على كميات كبيرة من العناصر الأخرى غير الهيدروجين والهيليوم، التي تبصم خطوط امتصاص أخرى على أطياف الكوازار. وهذا يسمح للفلكيين بتحديد التركيب العام للغيوم الغازية.

(٢) وكما ذكرنا سابقاً، فإن بعض النماذج الثابتة للكون تؤدي بالفعل إلى انزياحات إلى الأحمر، ولكن الانزياحات إلى الأحمر في نموذج دي سيتر الثابت، تربيعية مع المسافة. وهذا من شأنه أن يؤدي إلى أطياف المزيد من المجرات البعيدة وهي منفصلة بشكل غير جيد في الفضاء.

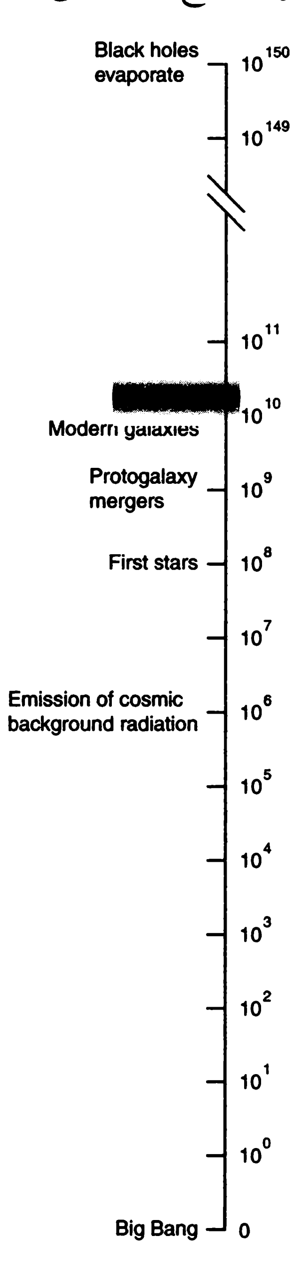
(٣) روبرت ديك هو أول من طرح هذه النقطة في تطبيق مبكر جدّاً للمبدأ الأنثروبي (قبل أن يُعطى هذا الاسم):

"Dirac's Cosmology and Mach's Principle," *Nature* 192 (1961), 440-441.

وقد ردد آخرون كُثُر فكرة أننا ننتقي على نحو ما «حاضرنا»، بما فيهم مارتن ريس، جون بارو، وبولس ديفيز. لمناقشة مستفيضة، انظر:

Barrow and Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* 16-17.

الوحيد. إذا كنا سنفكّر في كل ما تتطلّبه البيئة لدعم الحياة خاصّة الحياة المعقّدة، فإنّ فترةً قصيرة من تاريخ الكون صالح للحياة إلى حدّ ما.



● **الشكل ٩,٤:** أحداث هامة في تاريخ الكون في طريقها إلى صلاحية الحياة. العمر الكوني الصالح للحياة (مظلل) هو قطعة صغيرة من المدة الزمنية الإجمالية التي عادة ما يأخذها علماء الكون بعين الاعتبار (تصل إلى $١٠^{١٥٠}$ سنة). وهي تتزامن مع أفضل زمن لاكتشاف هندسة الكون.

لم تكن عناصر الحياة الأساسية الأثقل من الهيليوم موجودة في الكون حتى تمّ صنعها في النّجوم الأولى ثم طردت من باطنها. بدأ الجيل الأول من النّجوم بتخصيب بيئته بعد بضع مئات ملايين السّنين من بداية الوقت الكوني. فتركّزت عناصر الحياة الأساسية بسرعة أكبر في المجرّات الأكبر حجماً، خاصّة في مناطقها الدّاخلية؛ لذلك، حتّى لو كانت بعض النّجوم تتوفّر على كواكب بحجم الأرض بعد بضعة مليارات سنة فقط من البداية، فإنّها كانت ستظلّ محصورة في أخطر المناطق المجاورة. وخلافاً لحاضرنا، فإنّ الكون المبكّر كان فقيراً من حيث العناصر الثّقيلة وغنيّاً بالنّجوم الزّائفة عالية الطّاقة، ولادات النّجوم، والمستعرات العظمى. وكانت الكواكب الأولى في المناطق الدّاخلية من المجرّات لتستحمّ في مستويات قاتلة من أشعّة غاما، والأشعّة السّينية، وإشعاع الجسيمات.

ينطبق معظم حديثنا في الفصل الثّامن حول التّطور الكيميائي في مجرّة درب التّبّانة، أيضاً على الكون الواسع، مع بعض الاختلافات الهامّة. وبما أنّ درب التّبّانة أضخم من معظم المجرّات الأخرى، فقد راكمت العناصر الثّقيلة بسرعة أكبر. وكنتيجة، من المرجّح أنّ الكواكب تشكّلت حول النّجوم في درب التّبّانة في وقت سابق على تشكّلها في معظم المجرّات الأخرى.

وباختصار، كان الكون في طريقه لأن يصبح أكثر صلاحية للحياة. ولكن هذا الاتجاه لن يستمر إلى أجل غير مسمى. وقد أشرنا في الفصل الثامن أن النظائر المشعة طويلة الأمد في الوسط البينجمي، والتي تعد في غاية الأهمية بالنسبة للجيولوجيا آخذة في التراجع (مقارنة بالعناصر الثقيلة المستقرة). يحد هذا التّراجعُ الحدَّ الأقصى المستقبلي لزمن ولادة كوكب صالح للحياة. يمكن أن تنمو بعض المجرات الصغيرة غنية بالمعادن بقدر الشمس في المستقبل البعيد، ولكن بحلول ذلك الوقت ستكون هذه النظائر المشعة أقل وفرة بكثير. وستنتج كواكبها حرارة داخلية بشكل أقل. لن يكون لكوكب نموذجي بحجم الأرض والمتشكل اليوم نشاطاً جيولوجيّاً في ٤,٥ مليار سنة بقدر ما هو الحال

بالنسبة للأرض حالياً. وبطبيعة الحال، يمكن لكوكب أكبر أن يعوض عن ذلك. يجب أن يكون الكوكب المتوسط بحجم الأرض أكثر ضخامة في المستقبل بينما تواصل المعادن النشوء في المجرة. لكن وكما ناقشنا، فإن العديد من العمليات على كوكب أرضي حساسة لحجمه ـ معدل اصطدام الكويكبات والمذنبات، الإغاثة السطحية، عمق المحيط، والاحتباس الحراري الداخلي، ومعدل فقدان الغلاف الجوي، الوقت اللازم لأكسدة الغلاف الجوي، والاستقرار المداري. قد يكون من الممكن إدِّخار بعض الوقت مع كوكب أرضي أكبر قليلاً، ولكن الكواكب الأكبر حجماً بكثير من شأنها أن تخلق مشاكل كبيرة للحياة.

لا يمكننا أن نكون دقيقين حول الحد الأقصى المستقبلي لوقت الولادة لكوكب صالح للحياة، لكن من الملاحظ أن النظائر المشعة الثلاثة الأكثر أهمية لتدفئة الأرض ـ البوتاسيوم ـ ٤٠، اليورانيوم ـ ٢٣٨، والثوريوم ـ ٢٣٢ ـ لها أنصاف أعمار تقدر بـ ١,٣، ٤,٥، و١٤ مليار سنة. ولعله من قبيل المصادفة أن يكون متوسط أنصاف أعمارها مماثل لأعمار النجوم الشبيهة بالشمس في النسق الأساسي. يتوافق أحد هذه الأعمار مع عمر الكون، وآخر مع عمر الأرض. وفي جميع الأحوال، فإن النظائر المشعة طويلة الأمد؛ كالنجوم طويلة الأمد، تؤخر بشكل فعال تحرير الطاقة التي أنتجها الانفجار العظيم في الأصل. على هذا الدليل وحده، يمكننا أن نقدر أن زمن الولادة المستقبلي للكواكب الصالحة للحياة أقل ربما من عشرة مليارات سنة. وهذه مدة صغيرة للغاية من الزمن مقارنة بالمقاييس التي اعتادها علماء الفلك ـ حتى $١٠^{١٥٠}$ سنة في المستقبل.

على الرغم من أن تراكم المعادن جعل الكون مكاناً أكثر صلاحية للحياة حتى الآن، فإن هذا الاتجاه قد لا يستمر إلى أجل غير مسمى. لاحظنا في الفصول السابقة أن تلك النجوم الغنية بالمعادن أكثر احتمالاً لاستضافة الكواكب العملاقة. ومع ذلك، فإن معظم الكواكب العملاقة حول هذه النجوم تتوفر على مدارات معادية للكواكب الصالحة للحياة. وبدأ يبدو أن صلاحية

الحياة مخصوصة لمجال ضيق نسبياً من المعدنية[1] وهذا يترجم إلى نطاق ضيق من أعمار الكون المقبولة لبناء الكواكب الصالحة للحياة.

إذا جمعنا جميع الخصائص المتّعلقة بالكون والمتغيّرة عبر الزّمن - المعدّل المتراجع لتشكّل النّجوم، المستويات المتراجعة للإشعاعات عالية الطّاقة، والمعادن المتزايدة، والنّظائر المشعّة المتراجعة - فإنّنا سنبدأ في تكوين صورة عن العمر الكوني الصّالح للحياة. يمكننا أن نستبعد بسهولة الحالات المتطرّفة بوصفها عدائية بالنّسبة للحياة. كان الكون المبكّر جدّاً يفتقر إلى المجرّات والكواكب أيضاً. وحتّى بعد تشكّلها، لم يكن هناك ما يكفي من المعادن لبناء كواكب صالحة للحياة وكائنات حية في أماكن آمنة. في المستقبل البعيد، ستسود الكونَ الثّقوبُ السّوداء، والنّجوم النيوترونية، والقزمة البيضاء والحمراء. وأي كوكب من الكواكب الأرضية التي بقيت في مدارات قريبة حول هذه النّجوم سيكون لها دوران مؤمّن بشكل مدّي وستفتقر إلى النّشاط التّكتوني.

لكنّ العمر الكوني الصّالح للحياة قد يكون أضيق؛ لأن عوامل تعريفه تعتمد على الزّمن بطرق مختلفة وتختلف من مجرّة إلى مجرّة. ونتيجة لذلك، قد لا يكون للعديد من المجرّات كواكب صالحة للحياة معظم تاريخها. على سبيل المثال، قد لا تجمع المجرات منخفضة الكتلة مع نجوم ذات تكوين متواضع ما يكفي من العناصر الثقيلة لبناء كواكب بحجم الأرض لمدة خمسة أو عشرة مليارات سنة أخرى. وحتى ذلك الوقت، قد تكون النظائر المشعة طويلة الأمد خفيفة جدّاً للحفاظ على تكتونية الصفائح في كواكبها. ويمكن لبعض المجرات الصغيرة أن توقف سابقاً تشكل النجوم. إذا كان الأمر كذلك، وحدها المجرات التي يبلغ حجمها درب التبانة على الأقل، مع التواريخ المناسبة لتشكل النجوم، تتمتع بالعمر الكوني الصالح للحياة. ربما

(1) C. H. Lineweaver, "An Estimate of the Age Distribution of Terrestrial Planets in the Universe: Quantifying Metallicity as a Selection Effect," Icarus 151 (2001) 307-313.

يكون **من الواجب علينا** أن نعيش فقط في هذا الزمن من تاريخ الكون، في ظل أنه الزمن الوحيد الذي يوافق وجودنا[(١)]

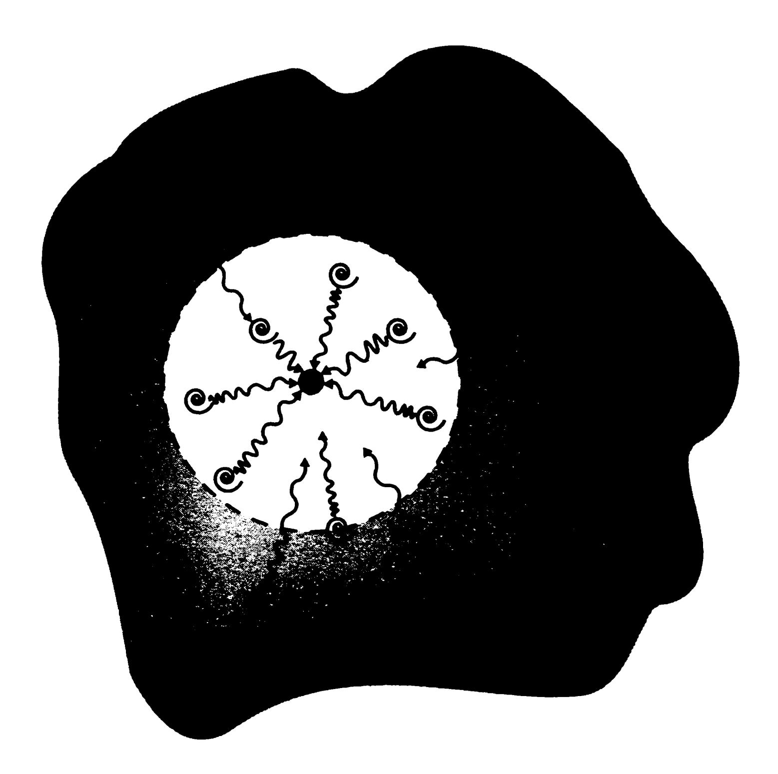
زمان ومكان متميزان:

دخل الفلكيون القرن العشرين وهم لا يعرفون الطبيعة الحقيقية لدرب التبانة، والسّديم الحلزوني، ومصادر الطاقة النجمية، أو أصل العناصر أو الكون. هل درب التبانة هو المشهد الكلي والسّديم الحلزوني أجسام صغيرة داخله؟

هل الجاذبية تقوي النجوم؟ أم أن هناك مصدراً جديداً للطاقة بحاجة لأن يعتمد عليه؟ هل تشكلت جميع العناصر الكيميائية داخل النجوم؟ هل الكون ثابت وأبدي، أم أنه يتغير بفاعلية ومحدود؟ لم سماء الليل مظلمة؟

---

(١) قد تكون نسبة نظائر الكربون المتغيرة عاملاً آخر يعتمد على الزمن على مدى بلايين السنين. تَشكّل النظام الشمسي من سحابة مع نسبة من نظير الكربون ـ ١٢ إلى الكربون ـ ١٣ تقترب من ٨٠ (أي: ذرةً واحدة من الكربون ـ ١٣ لكل ٨٠ ذرة من الكربون ـ ١٢). ينبغي أن تنخفض هذه النسبة مع استمرار النجوم الحمراء العملاقة في إعادة المادة المُعَدّة إلى الوسط البينجمي، بنسب نظائر الكربون بين ستة واثني عشر. وليس من شأن هذا أن يؤثر مباشرة على الحياة، ولكنه سيؤثر على صلاحية الكوكب للحياة من خلال تأثير الاحتباس الحراري. تنقل الغازات الدفيئة كثاني أكسيد الكربون (CO2) والميثان (CH4) أشعة الشمس في المنطقة البصرية من الطيف ولكنهما يمتصان الأشعة تحت الحمراء الخارجة المنبعثة من السطح الدافئ والغلاف الجوي. الامتصاص ليس متصلاً على طول ضوء الأشعة تحت الحمراء لكنه يحدث في أشرطة. تعتمد المواقع الدقيقة لأشرطة الامتصاص لجزيء معين على النظائر التي تكوّنه. يرتفع عدد أشرطة الامتصاص في منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف إذا ارتفع أحد النظائر الثانوية في غاز دفيئ معين إلى مستويات مماثلة للنظير الأساسي. وبالتالي يمكن أن تنتج جزيئات ثاني أكسيد الكربون والميثان في غلاف جوي مع مستوى مرتفع من الكربون ـ ١٣ تأثيراً أكثر فعالية للاحتباس الحراري. يمكن أن يحقق توأم الأرض الذي يتوفر نسبيّاً على المزيد من الكربون ـ ١٣ نفس درجة حرارة السطح مع كمية أقل من ثاني أكسيد الكربون والميثان. وبما أن الأرض تتوفر بالفعل على محتوى منخفض من ثاني أكسيد الكربون، فإن مثل هذا الكوكب قد لا يكون قادراً على دعم معظم الحياة النباتية. للتعويض عن ذلك، ينبغي أن تكون الحافة الداخلية للمنطقة حول النجمية الصالحة للحياة أبعد. وكما لاحظنا في الفصل السابع، تدخل عمليات عدة في تحديد المنطقة حول النجمية الصالحة للحياة ـ إذا تغيرت واحدة منها، فإن التأثير الصافي سيُضيّق بشكل كبير امتدادها الكلي. لكننا لسنا مستعدين بعد للقول إلى أي مدى ستتأثر صلاحية الحياة مع تغير نسبة النظائر الكربونية.



● **الشكل ٩,٥: تسمى المسافة التي يمكن أن نرى في أي وقت، بأفق الجسيمات (particle horizon)، ويتم تحديده بالاعتماد على سرعة الضوء وعمر الكون. كلما تقدم الكون في العمر، كلما استمر أفق الجسيمات في التوسع، كاشفاً عن حجم أكبر من الكون. ولكن في النهاية، سيبدأ أفق الحدث (event horizon) في تقليل عدد الأجسام التي نستطيع رؤيتها.**

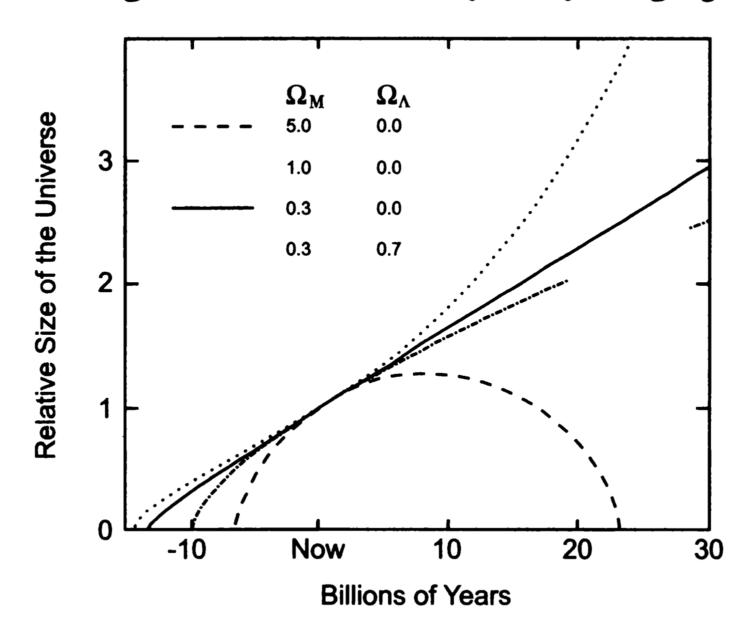
اليوم، لدينا إجابات جيدة جدّاً على كل هذه الأسئلة وإن كانت عامة أحياناً. إنه زمن رائع ليكون الإنسان عالم فلك؛ إذ بالكاد يمر شهر دون الإعلان عن تجربة جديدة هامة في الفيزياء الفلكية. وبينما نحن نكتب هذا، يقيس مسبار ويلكينسون الجديد لقياس اختلاف الموجات الراديوية إشعاعَ الخلفية بدقة لم يسبق لها مثيل، تَعِدُ بإعطائنا فكرة أكثر تفصيلاً عن طبيعة الكون[1] (انظر: اللوحة ١٩). لقد رأينا في الفصول السابقة كيف كشف

---

(١) انظر: الموقع الشبكي لوكالة ناسا فيما يخص بعثة مسبار ويلكينسون لتباين الأشعة الكونية (WMAP)¤http://map.gsfc.nasa.gov/index.html.

أُصدرت النتائج الأولية المرتكزة على البيانات التي جُمعت خلال السنة الأولى من بعثة WMAP في أوائل شباط/ فبراير سنة ٢٠٠٣م. وبالرغم من التحسين الذي طرأ على القياسات السابقة، خاصة التي قامت بها بعثة circa COBE سنة ١٩٩٠م، لم تكن نتائج WMAP نقلة نوعية في الجودة المتوقعة قبل =

الكون عن نفسه لنا في بضعة قرون قصيرة على مقاييس حجمية تتراوح من سطح الأرض إلى المجرات القريبة. إن رؤيتنا الآن تمتد إلى



● **الشكل ٩,٦: التواريخ الأربعة الممكنة للكون مبينة بدلالة كثافة الطاقة ـ المادة (Ω) وكثافة الطاقة ـ الثابت الكوني (Ω). لدى الكون المغلق (متقطع) ما يكفي من كثافة الطاقة ـ المادة للتسبب في انهياره. بينما بالكاد يكون الكون المسطح، أو الحرج، (متقطع ـ منقط) قادراً على تجنب الانهيار والتوسع للأبد، وفي معدل يتناقص باستمرار. يتوسع الكون المفتوح (متصل) للأبد ويختبر تباطؤاً أقل من الكون المسطح. يتسارع الكون المفتوح بثابت كوني (منقط) إلى أجل غير مسمى. والحالة الأخيرة هي أفضل حالة تطابق ما نعرفه عن الكون.**

الكون ككل، ونحن ننظر إلى الكون البعيد، نعلم الآن أننا نعود بالزمن إلى الوراء، إلى حقبة قريبة من حدث الانفجار العظيم.

وإننا نميل إلى التعجب من البراعة العلمية التي سمحت لنا بفكّ هذه المعلومات. ويجب ألا ننسى الظروف الرائعة الضرورية لهذه البراعة. يتيح لنا موقعنا في درب التبانة برؤية الكون البعيد وكذا الأنواع المختلفة المتعددة

= بضع سنوات فقط. وهذا لأن التجارب على قمم الجبال العالية والقطب الجنوبي كانت أكثر نجاحاً مما كان يعتقد سابقاً ـ ومثالاً آخر على نوع مهم من القياس الذي يمكن القيام به من سطح الأرض على نحو فعال.

للنجوم القريبة، باعتبارها شرطاً أساسيّاً لفهم المجرات الأخرى. لكن بالنسبة للاكتشاف العلمي، ربما يكون الزمن على نفس القدر من الأهمية التي يتبوؤها الموقع على أوسع نطاق.

وكان يمكن أن يكون لسكان الكون المبكر الافتراضيين والوديين على نحو غريب، ـ لنقل بليون سنة أو بليونين بعد البداية ـ مقعد في الصف الأمامي لعروض الألعاب النارية المذهلة للمستعرات العظمى المجاورة والنجوم الزائفة، ومحركات الثقوب السوداء المركزية التي تتغذى على الغاز الوافر الساقط نحو جِباب جاذبيتها العميقة. تكشف حقول هابل العميقة عن كون حديث مليء بالمجرات المشوهة، تشوش بعضها البعض خِلال لقاءات متقاربة. وكنتيجة جزئية لذلك، تورث التدفئة المكثفة من النجوم والمستعرات العظمى العديدة إلى الغبار المجرّي وهجاً جميلاً ومشرقاً أحياناً، لذلك لما تشكلت معظم النجوم في مجرة درب التبانة، حجب الغبار الساخن مشهد الكون البعيد. لو كان بإمكانها أن توجد في وقت مبكر، كان سيستمتع السكان الكونيون بمشاهدة العرض. لكن رؤيتهم لم تكن لتمتد إلى ما وراءه.

وكان سيبدو الكون أصغر بكثير آنذاك. تسمى المسافة التي يمكن أن يرى المراقبون في عمر معين الكون بأفق الجسيمات. وهي شاسعة بقدر المسافة التي عبرها الضوء منذ الانفجار العظيم، مع أخذ التوسع المتدخل بعين الاعتبار، وتحد من المعلومات التي نستطيع التقاطها مباشرة من الكون؛ وتتضخم مع تقدم عمر الكون، مما يتيح للفلكيين عيّنة متزايدة من الكون.

سواء كان الكون سيستمر في التوسع على نفس المعدل، يتباطأ، أو يتسارع، فهذا يعتمد على الآثار العكسية لكثافة المادة/ الطاقة وكثافة الطاقة المظلمة أو طاقة الفراغ. (تسمى طاقة الفراغ عادة بـ«ثابت الكون»، الذي، بخلاف مفهوم **آينشتاين** ذو الاسم نفسه، لا يحفظ الكون في توازن ثابت). تخيل تنافس قوة الجذب للجاذبية مع قوة التنافر للطاقة المظلمة أو طاقة الفراغ. فإن السؤال المحوري سيكون، أيها الآن تسود النطاق الكوني؟ ووفقاً لأفضل القياسات الحالية لمنحنيات الضوء الخاصة بمستعرات Ia، فإن الطاقة المظلمة

الآن تسحق قوة السّحب للجاذبية على المستوى الكوني، **وتسرع** توسع الكون. حتى حوالي ستة مليارات ستة مضت، كانت الجاذبية لا تزال تحكم زمامها، بينما كان التوسع الكوني آخذاً في التباطؤ(١) ومع أن هذا دليل جديد، فلو تحققت صحة التفسير السائد لملاحظات بمستعرات Ia، فإنه سيكون من الواجب أن يستمر الكون في التوسع أو أن يتسارع حتى أجل غير مسمى.

اليوم، يقدم الكون لعلماء الفلك حوالي أربعين في المئة من المصادر التي يمكن ملاحظتها من حيث المبدأ ـ عينة كبيرة جدّاً(٢) لكن وبما أنّ التّوسّع يستمر في التّسارع، ستظهر أجسام في الكون مع انزياحات حمراء أكبر ثم تتلاشى تدريجيّاً عن الرّؤية. وسوف تتراجع الأجسام الأكثر بُعداً بشكل أسرع وتتلاشى أولّاً وهو شبيه بما يمكن لمراقب غير متحرّك أن يراه عند مرور جسم عبر أفق الحدث لثقب أسود. في الواقع، يطلق الفلكيّون على هذا الحدّ الزّمكاني الكوني للرّؤية، أفقَ الحدث. وآثار هذا الحدث لا تزال ملاحظتها متعذّرة؛ لأنه أبعد من أفق الجسيمات، ولكنّنا على مقربة من رؤيتها بشكل مفاجئ، على الأقل على نطاق زمني كوني. فإذا كانت أفضل التّقديرات صحيحة، فإنّ أفق الحدث سيؤثّر على رؤيتنا للكون في عشرين إلى ثلاثين مليار سنة. وبعد ذلك، ستبدأ كمية المعلومات التي يمكن أن نصل إليها في الكون تستدقّ شيئاً فشيئاً. وستكون الأجزاء الأكثر بُعداً في الكون أوّل ما يتلاشى عن الرّؤية، مثل إشعاع الخلفية(٣)

---

(١) E. H. Gudmundsson and G. Bjrnsson, "Dark Energy and the Observable Universe," *Astrophysical Journal* 565 (2002), 1-16.

في عام ١٩٩٩م، خمن الفلكيّان فريد آدامز (Fred Adams) وجريج لولين (Greg Laughlin) بشأن الحالة التي سيكون عليها الكون ١٠١٥٠ سنة في المستقبل! لكن سرعان ما أصبح تنبؤهما على ضوء الاكتشاف الحديث للطاقة المظلمة الكونية سيناريوها مهجوراً. انظر:

F. Adams and G. Laughlin, The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. New York: The Free Press, 1999.

(٢) Gudmundsson and Bjrnsson, "Dark Energy and the Observable Universe," 11.

(٣) يقدم لورنس كراوس (Lawrence Krauss) وجلين ستاركمان (Glenn Starkman) الوصف التالي للأجسام التي تقترب من أفق الحدث:

عندما ينتقل الضوء من مصدره إلى الراصد، يمتد طوله الموجي بما يتناسب مع الارتفاع في ((a(t)). =

وحتّى قبل أن يصبح إشعاع الخلفية غير قابل للكشف، سيغدو القياس أكثر صعوبة من ذي قبل؛ لأنه يصبح أكثر خفوتاً مع توسّع الكون فيزيحه إلى الأحمر. بدأ هذا في حقبة التّصَوُّع وسيستمرّ إلى أجل غير مسمّى. وبالإضافة إلى ذلك، فإنّنا الآن نتوفّر على ميزة نافعة: **يحدث** أن مختلف انبعاثات الإشعاع المستقلة - الأشعة الكونية، الخلفية المكروية، الضوء النجمي للمجرة، الانبعاثات السينكروترونية من حقوله المغناطيسية، والغبار الدافئ - كافية على حدٍّ سواء للسماح لنا بممارسة العلم الفلكي الكوني والمجرّي؛ إذ يقول عالم الرياضيات والكونيات **مايكل روان روبنسون** (Michael Rowan Robinson)، عن هذه الحقيقة المذهلة، «ربما علينا فقط أن نتقبل ذلك كصدفة، كما نتقبل الأحجام المتماثلة للشمس والقمر»[1] لكن هذه «الصدفة» نتيجة لعمر الكون المتميز، والأكثر صلاحية للحياة أيضاً. في هذه اللحظات الكونية الأكثر ملاءمة للحياة، تعد الانبعاثات المختلفة في مجرة كبيرة كمجرتنا مثل إشعاع الخلفية في

= وبالتالي، تظهر الأجسام منزاحة إلى الأحمر بشكل أسي كلما اقتربت من الأفق. وأخيراً، ينخفض سطوعها الظاهري أسّيّاً، بحيث تزداد أسّيّاً المسافةُ بين الأجسام التي يستدل عليها الراصد. وإذا كان الفقدان التام للاتصال السببي بهذه الأجسام المتراجعة يأخذ من الراصد بالتحديد وقتاً لا نهائيّاً، فإن النجوم البعيدة والمجرات، وجميع الخلفيات الإشعاعية من الانفجار العظيم «ستختفي» عمليّاً من الوجود في وقت محدود؛ ومع انزياح إشاراتها إلى الأحمر، يصبح الجدول الزمني للكشف عن هذه الإشارات قابلاً لأن يُقارَن بعمر الكون.

في:

"Life, the Universe, and Nothing: Life and Death in an Ever-Expanding Universe," ***Astrophysical Journal*** **531 (2000), 23.**

(١) الاقتباس الكامل لمايكل روان روبينسون (Michael Rowan Robinson) هو كالآتي:

«أشار هويل إلى أن كثافة طاقة كل من الخلفية المكروية، والأشعة الكونية، والحقل المغناطيسي لمجرّتنا، وضوء النجوم في مجرّتنا، كلّها على نفس الرتبة ١ ١٠ - ١٣ W m-3... لكن تطابق كثافات هذه الطاقات المجرّيّة الثلاث مع كثافة طاقة الخلفية المكروية، التي يشير شكلها الطيفي ونقطة تناحيها إلى أصل كوني، يظلّ لغزاً محيّراً. ربما ينبغي أن نكتفي بأن نقبل هذا على أنه صدفة، كما قبلنا بالأحجام الظاهرية المماثلة للشمس والقمر».

من **Cosmology (Oxford: Clarendon Press, 1977), 144-145.**

كثافة الطاقة هنا، هي ببساطة كمية الطاقة لكل وحدة حجمية، وُسِّطَت على مدى حجم كبير من الفضاء.

الضّياء كافية؛ لأنها تسهّل وصولنا إليها كلّها، بما أنها تختلف بالقدر الذي يسمح لنا بالتمييز بينها. لو كان إشعاع الخلفية أقوى بكثير من الانبعاثات المحلية، لكان علم الفلك المجرّي يعاني؛ ولو كانت الانبعاثات المحلية أقوى بكثير، لكان علم الكونيات يعاني. وبما أن الأمر كذلك، فإننا نستطيع فصل الخلفية الكونية ومصادر المجرة. ولكن هذا الوضع السعيد لن يستمر إلى الأبد. لقد كان **روان روبنسون** محقّاً في مقارنته بالتطابق بين الشمس والقمر في سمائنا، لكنه ربما لم يصب، في الاستهانة بهذه الحقيقة بوصفها مصادفة.

في أولى المناقشات الحديثة في علم الكونيات، أحالت أوجه التشابه بين المصادر الكونية والمحلية للإشعاع إلى بعض الفلكيين، مثل **فريد هويل**، أن إشعاع الخلفية قد يكون ذا أصل محلي. فلماذا يبدو علماء الفلك واثقين جدّاً اليوم باكتشافهم إشعاع الخلفية الكونية الميكروي، بدلاً من دخيل مجري؟ لحسن الحظ، لدى كل واحدة من الملوثات بصمة طيفية خاصة. تشمل الملوثات الأمامية الغبار بين الكواكب، الغبار البينجمي الدافئ، والإشعاع المنبعث من الإلكترونات الحرة المتصاعدة على طول خطوط الحقل المغناطيسي، والنجوم، والمجرات البعيدة والنجوم الزائفة[١] التي تعيق بطرق مختلفة قدرتنا على إعادة بناء أنماط السّطوع الحقيقية للإشعاع الخلفية[٢] لكن موقعنا يساعد الفلكيين كثيراً في فصل إشعاع الخلفية عن الملوثات الأمامية. وهو ما ليس في مقدور الأطياف توفيره، ومع المعلومات الإضافية عن توزيع

---

(١) للاطلاع على مدخل نافع إلى مختلف الملوّثات الأمامية للخلفية المكروية الكونية انظر:
M. Lachieze-Rey and E. Gunzig, The Cosmological Background Radiation (Cambridge: Cambridge University Press, 1999).

(٢) يتميز الغبار الدافئ بكونه ذا بنية دقيقة صغيرة؛ إذ غالباً ما يشوش الخصائص الزاوية الكبيرة والواسعة لإشعاع الخلفية الكونية. يؤثر هذا الغبار على المعاينات التي تمّت في الأشعة تحت الحمراء أكثر مما يؤثر على الجزء الراديوي من الطيف. بما أن النجوم والمجرّات البعيدة صغيرة، فهي تحرّف التفاصيل الدقيقة في طيف للقدرة الخاص بإشعاع الخلفية الكونية كما تحرّف الجزء تحت الأحمر والراديوي. تؤثر انبعاثات الجسيمات المشحونة بالأساس على الزوايا العريضة في طيف القدرة لإشعاع الخلفية الكونية في الجزء الراديوي. إن «الكأس المقدسة» في أبحاث إشعاع الخلفية الكونية هي تحديد طيف قدرتها الزاوي. فهي قياس للأحجام الزاوية في السماء التي تميز نمط تقلبات السطوع لإشعاع الخلفية الكونية.

مصادر الإشعاع في السماء، يمكن لعلماء الفلك حذف الملوثات الأمامية وإنتاج خريطة (CMBR) «نظيفة». وبما أن إشعاع الخلفية إشعاع كوني، فإنه من المتوقع أن يكون مُتَناحياً (isotropic) في السماء؛ أي: أنه يبدو مُوَحَّد الخواص في جميع الاتجاهات. وفي المقابل، فإن معظم المصادر المحلية للإشعاع متباين الخواص (anisotropic) إلى حدٍّ كبير. خاصة أننا نعيش في مجرة مسطحة للغاية بعيداً جدّاً عن مركزها، يمكننا إبعاد الملوثات الأمامية المجرّية عن إشعاع الخلفية متباين الخواص. (انظر: اللوحة ١٩).

لو كنا أقرب إلى مركز المجرة، لكانت محاولة الكشف عن إشعاع الخلفية جهنميّاً. إن جميع ملوثات الإشعاع المحلي لا تصبح أقوى فقط؛ بل تظهر أيضاً أكثر تناحياً قرب مركز المجرة؛ لأن الحوصلة البيضاوية تهيمن على القرص هناك. وأسوأ مكان بالنسبة للمراقبين لاكتشاف وقياس دليل الانفجار العظيم هذا (أو أي ظاهرة كونية أخرى) في مركز المجرة؛ لأنهم لن يعرفوا ما إذا كانوا يكشفون الإشعاع المحلي أو الكوني. وسيحصلون على رؤية قريبة للثقب الأسود العملاق في مركز المجرة؛ كفائدة ذبابة تحظى بصورة موجزة عن قرب للزجاج الأمامي لسيارة السباق. وهذا أمر سيئ؛ لأنه ليس جسماً مميزاً. هناك العديد من الثقوب السوداء الأقل حجماً وخطورة وهي موزعة في مجرة درب التبانة. إشعاع الخلفية فريد من نوعه.

كما نستفيد كذلك من حقيقة أن نواة درب التبانة غير نشطة حاليّاً. تصدر نواة المجرة النشطة منها الكثير من إشعاعات الجسيمات المشحونة. وبالمثل، فدراسة إشعاع الخلفية أسهل بكثير بين الأذرع الحلزونية، حيث يوجد الغبار البينجمي بشكل أقل، مما يوجد بداخل ذراع حلزونية. بشكل عام، فتلك الأماكن في المجرة الأكثر تهديداً للحياة المعقدة هي أيضاً أقل الأماكن إعانة على قياس صدى الانفجار العظيم (وأي مصدر كوني آخر).

كما أن معظم أنواع المجرات الأخرى تمنح مشاهد ضعيفة لإشعاع الخلفية مقارنة مع ما نحصل عليه. وربما تكون المجرات الإهليلجية البيضاوية للغاية وما يتحدر منها وكذا العناقيد الكروية، أسوأها. وسيكون المراقبون في

مثل هذه الأنظمة محاطين بمصادر الإشعاع القريبة والموزعة بشكل موحد، يستفيدون من تباين الخواص فقط بالقرب من محيطها. كما أن المجرات الشاذّة والنشطة ستكون مناطق غير مكلفة لحد ما. تنتج المجرات النشطة، مع التشكل المكثف للنجوم، تدفقات عالية للأشعة تحت الحمراء من الغبار الساخن للمستعرات. وكإضافة الضباب إلى المطر، تقذف المستعرات العظمى والمجرات ذات النوى النشطة جزيئات عالية الطاقة، منتجة انبعاثات راديوية شديدة. قد تفترض أنه سيكون من السهل التقاط هذا الإشعاع وتصحيحه؛ لأنه يأتي من اتجاه واحد. لكن الجسيمات المشحونة تتخلل المجرة على طول خطوط مجالها المغناطيسي، فَتوهِم أنها نشأت من اتجاهات متعددة.

يتغيّر التلوّث الأمامي مع مرور الزّمن كما يتغيّر أي شيء آخر. قبل ولادة النّجوم الأولى، لم يكن الكون القديم يحتوي على المعادن وبالتّالي لم يكن هناك أيّ غبار. ثم بعد فترة قصيرة من تزويد النّجوم الأولى الغاز البَيْنجمي بالمعادن، بدأ يتشكّل الغبار. فقامت انفجارات المستعرات المتكرّرة بتسخينه، مما جعله متوهّجاً. كان هناك بضع نجوم تلوّث الأمام. لكنّ انبعاثات الجسيمات كانت لتكون مكثّفة بشكل أكبر، وكانت انبعاثات الخلفية لتكون على أعلى درجة قرب الجزء المرئي من الطّيف، حيث سيتم امتصاص المزيد منها من طرف الغبار البَيْنجمي. وبوجود كلّ هذه العوامل المتنافسة، فإنّه من الصّعب أن نخبر دون حسابات مفصّلة ما إذا كان قياس إشعاع الخلفية أسهل في الكون المبكّر مقارنة بالوقت الحالي. من المرجّح أن الغبار وانبعاثات الجسيمات تتداخل اليوم بشكلٍ أقل، لكن بما أنّ النّجوم والمعادن تستمرّ في التّراكم في مجرّتنا، ومع استمرار الكون في التّوسع، سيصبح القياس أكثر صعوبة. ينبّؤنا حدسنا العلمي بصرف النّظر عن الفترة التي سبقت بدء تشكّل النّجوم، أنّه يمكن الوصول لإشعاع الخلفية بشكل أسهل الآن مقارنة بالماضي أو المستقبل (وهو سؤالٌ التّحقيق فيه مثير للاهتمام بالنّسبة لشاب باحث).

بعد إشعاع الخلفية، فإنّ النّجوم الزّائفة البعيدة هي الأجسام التالية التي ستتلاشى عن الأنظار. لن يكون لدى المراقبين في المستقبل نجوماً زائفة لجسّ

المادّة على مسافات شاسعة. كما أنّ التّوسّع الكوني المتواصل سيُباعِد بين المجرّات بأكبر قدر ممكن[1] وفي مدة ١٥٠ مليار سنة، ستختفي المجرّات الموجودة في الوقت الحاضر والتي تبعد بحوالي ثلاثين مليون سنة ضوئية كلّما اقتربت من أفق الحدث[2] قبل أن يحدث ذلك، ستنتشر هذه المجرّات القريبة في الماضي وهي أبعد النّجوم الزّائفة المعروفة حاليّاً. ومجدّداً، فهذا زمن «قصير» بشكل مدهش، مقارنة بالمقاييس الزّمنية التي عادة ما يفكّر فيها علماء الفلك.

إنّنا نعيش في الوقت الذي لا تزال فيه نجوم عديدة في طور التّشكل، لكن كلّما قلّ عدد النّجوم المتشكّلة، قلّ معه عدد النّجوم الضّخمة، وبالتّالي، سيقلّ عدد المتغيّرات القيفاوية الكلاسيكية والمستعرات، وجميعها أدوات قيّمة للقياس بالنّسبة لعلماء الفلك. أما نبّاضات الميلي ثانية (Millisecond pulsars) فهي تنتظر مصيراً مماثلاً. تدور النبّاضات في بضع مئات ملايين السنين[3] وبما أنّ أسلافها نجومٌ ضخمة ـ وهي أفضل السّاعات الكونية في هذا الإطار ـ فإنّ نبّاضات الميلي ثانية ستتبّع عن كثب انخفاض معدّل تشكّل النّجوم. وستستمرّ مستعرات Ia في الانفجار لبضع مليارات من السّنوات بعد توقّف النّجوم عن التّشكل، وعندئذ، ستصبح آلات القياس القيّمة كذلك، أقلّ انتشاراً.

وبما أنّ المجرّات الكبيرة مثل درب التّبانة تميل مع مرور الوقت إلى تدمير توابعها، فإنّ هذه الحشود المجرّية ستصبح أقل عدداً مستقبلاً. (تستهلك مجرّة درب التّبانة مجرة القوس حاليّاً). قد لا يحظى للمراقبين المستقبليين شيئاً مثل سحب ماجلّان، التي تعمل بمثابة درجات وسيطة في سلّم المسافات الكونية.

---

(١) لا تبتعد المجرّات القريبة منّا نسبيّاً بالسرعة التي توقّعها قانون هابل؛ لأن تجاذباتها الثقالية المتبادلة قوية بما يكفي للتصدي للتوسع الكوني. فعلى سبيل المثال، تقترب مجرّة أندروميدا بالفعل من مجرّة درب التبانة.

(٢) Krauss and Starkman, "Life, the Universe, and Nothing," 23.

(٣) Kalogera et al.,"The Coalescence Rate of Double Neutron Star Systems," *The Astrophysical Journal* 556 (2001), 340-356.

يصل العمر الافتراضي للنجوم النيترونية الثنائية، قبل أن تندمج، إلى عدّة ملايير من السنين، لذا فلا شك أنها ستظل متوفرة لعلماء الفلك المستقبليين لوقت أطول، إلا أنه في النهاية، ستعمل يد الدهر العنيدة على التقليل من تردّد تلك الظواهر الحديثة كذلك.

وهو ما لا يمكن لأي مجرّة تابعة القيام به. لاحتواء المتغيرّات القيفاوية الكلاسيكية، فإنّه من الواجب أن تظلّ بعض النّجوم في طور التّشكل. بمقدار كم كان سيتأجل اكتشاف هنريتا ليفيت بدون شيء كسحب ماجلّان؟ سيحتوي المستقبل البعيد على عدد أقل من الأشياء غير الملوثة نسبيّاً عن طريق التخليق الضوئي النجمي، مما يجعل التأكد من نسب النظائر المنتجة في الكون القديم مهمة صعبة. اليوم لا تزال في متناول أيدينا بعض هذه العينات، مثل النجوم القديمة القريبة من هالة مجرتنا والسديم المتأين في المجرات القريبة منخفضة الكتلة. لكن مع تقدم الكون في العمر والنجوم ستستمر النجوم في معالجة الغاز وتبديل وفرات العناصر الخفيفة الأصلية عن قيمها الأصلية، بينما تستمر النجوم القديمة قليلة المعادن في التلاشي[١] ومع تلاشي النجوم الزائفة، سوف تثبت سحب لايمان - ألفا المتدخلة (مصدر مفيد للبيانات عن وفرة الديوتريوم الأصلي) أن دراستها أكثر صعوبة من أي وقت. وستختفي الكثير من المعلومات المتاحة الآن في دردوب التاريخ الكوني.

ماذا لو لم يولد علماء الكونيات المراقبون حتّى ١٠ مليار سنة بعد الميلاد مثلاً؟ حسناً، من المحتمل أنّهم لن يتعرّفوا علاقة الفترة - السطوع بالنّسبة للمتغيّرات القيفاوية الكلاسيكية المتوفّرة لديهم؛ لأنه لن يكون هناك شيء مثل سحب ماجلّان تدور حول مجرّة درب التّبّانة. مع تشكّل عدد قليل النّجوم، من المحتمل أنّ المتغيّرات القيفاوية الكلاسيكية ستكون نادرة أيضاً في مجرّة درب التّبّانة. وإنّ كان بإمكان هؤلاء المراقبين أن يعرفوا المتغيّرات القيفاوية من نوع II الأقلّ سطوعاً أو عن علاقة الفترة - السّطوع الخاصّة بها، لكنّ هذه الشّموع القياسية ستكون خافتة فتصبح أكثر صعوبة للكشف عنها في المجرّات الأخرى. كما أنّ معظم المجرّات (والعناقيد المجرّية) ستكون أبعد، بينما ستكون المجرّات القريبة أكثر انتشاراً، مع انزياح أكبر للأحمر. وقد

---

(١) تعد العناصر: الديوتيروم، والهيليوم - ٣ والليثيوم - ٧ مهمة بشكل خاص، لكن هذه النظائر تُدمَّر في النجوم بسهولة. (تنتج بعض العمليات الليثيوم أيضاً، فتعقّد أكثر استعادة وفرتها الأصلية). ستستمر وفرة الهيليوم - ٤ بالانحراف عن قيمتها الأصلية بينما تقوم النجوم بتدوير الغاز البينجمي في داخلها.

يكتشف هؤلاء العلماء في نهاية المطاف قانون هابل مبادرين للبحث عن إشعاع الخلفيّة المراوغ، الذي سيكون بحلول ذلك الحين أضعف بكثير من الملوّثات الأمامية. وسيكون علم الكونيّات ثقلاً وأكثر صعوبة. وما كان لبعض الاكتشافات العميقة أن ترى النور على الإطلاق.

توجد قرب مسكننا، العديد من الاتّصالات المباشرة بين سطح الأرض والكون الواسع. على سبيل المثال، ذكرنا في الفصل الثّالث أنّ علماء الفلك الرّاديوي يقيسون حركات الصّفائح التّكتونية من خلال مراقبة النّجوم الزّائفة البعيدة. تنتج الأشعّة الكونية التي تصطدم بالغلاف الجوي للأرض الكربون ـ ١٤ (وكذلك البريليوم ـ ١٠ والكلور ـ ٣٦)، المفيد جدّاً في تأريخ بقايا الكائنات الحية. وإن كان الغلاف الجوي للأرض يغَشّي صور الأجسام الفلكية، فإن صدفة كونية مثيرة للاهتمام تقلّل من تأثيراتها السّلبية على ملاحظاتنا للمجرّات البعيدة. فالأحجام الزّاوية للمجرات البعيدة لا تتناقص خطّيّاً بتزايد المسافة، كما تفعل الأجسام القريبة. والغريب أنّ الحجم الزّاوي يتناقص حتّى ينزاح الأحمر إلى واحد ثم يزيد بالنّسبة للانزياحات الحمراء الكبرى. يقدّر الحجم الزّاوي الأدنى لمجرّة شبيهة بدرب التّبانة بنفس حجم تقريباً تأثير التّغشية لغلافنا الجوي[1] وقد لا يكون هذا الأخير العائقَ في مشاهدة المجرّات الأكثر بُعداً كما يمكن للمرء أن يتوقّع.

وباختصار، فإنّ معظم المجرّات ستكون بعيدة عن بعضها كلّ البعد على مدى السّنوات القليلة المقبلة، وسيصبح أفق الجسيمات أبعد مما هو عليه، وإشعاع الخلفية الكونية الميكروي أكثر ضبابية، والشّموع القياسية الكونية والنّجوم النّابضة أكثر ندرة، والنّجوم الزّائفة أكثر خفوتاً. وستقلّ العيّنات المتاحة

---

(١) يلاحظ عالم الكونيات فيليب بيبلْز (Phillip J. E. Peebles) أنه «يُتوقّع أن يكون مجرّة عند انزياح أحمر z يقارب ١، أن يكون حجما الزاوي من رتبة ثانية قوسية، والذي هو بالصدفة مماثل لدقة الصورة الزاوية، أو وضوح النظر الذي يسمح به غلافنا الجوي». Principles of Physical Cosmology (Princeton: Princeton University Press, 1993), 326.

يناقش بيبلز هنا بشكل خاص الأحجام الزاوية للمجرّات المماثلة من حيث الحجم لقرص درب التبانة المضيء.

للوفرات الأصلية للعناصر الخفيفة، وبشكل أدقّ، بمجرد أن تبدأ آثار أفق الحدث في الظّهور في بضع فترات من أزمنة هابل (زمن هابل هو تقريباً العمر الحالي للكون)، سوف تبدأ بعض العلامات التّشخيصية المهمّة حول الكون بالاختفاء تدريجيّاً. وسيتمتّع المراقبون الذين سيعيشون في المستقبل «القريب» بأفق جسيمات أكثر بُعداً، لكن على حساب معظم أدوات الفيزياء الفلكية التي يستخدمها علماء الفلك اليوم. في إمكاننا الوصول إلى جزء كبير من العدد النّظري الأقصى لمصادر الإشعاع ـ حوالي أربعين في المئة. وبعد هذا، فإنّنا نعيش في أفضل فترة زمنية من عمر الكون لممارسة علم الكونيّات. فما استغرق منّا قرناً لنعرفه كان يمكن أن يأخذ زمناً أطول من المراقبين في الأعمار الأخرى. وربّما لم تخطر فرضية الانفجار العظيم ببال أولئك الذين يعيشون خلال الأعمار التي لم تكن فيها ملاحظة إشعاع الخلفية أمراً سهلاً. وما كان لهم أبداً ـ بخلافنا ـ أن يقدّموا فرضية الحالة الثابتة. وبالطّبع، إذا كنّا محقّين بشأن العمر الكوني الصّالح للحياة، فإنّه من غير المحتمل أن يكون وجود المراقبين في الأعمار البعيدة عن العمر الخاص بنا، أمراً ممكناً. فيتمّ إعفاؤهم من الإحباط النّاجم عن جهلهم[1]

حل المفارقة:



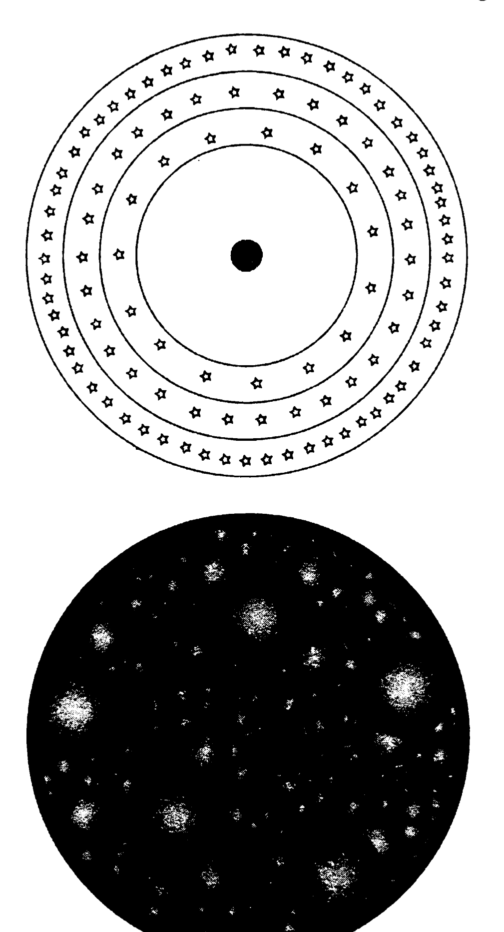
● الشكل ٩,٨: هاينريش ويلهلم ماثوس أولبرز (١٧٥٨ ـ ١٨٤٠م).

في عام ١٨٢٦م، طرح عالم الفلك الألماني **هاينريش ويلهلم ماثوس أولبرز** (Heinrich Wilhelm Mathäus Olbers) وهو يتأمل السماوات، سؤالاً متواضعاً على نحو خادع: «لماذا تبدو السّماء مظلمة في اللّيل؟»[2] اعتاد علماء الفلك أن يطلقوا على هذا السّؤال اسم «مفارقة أولبرز» ('Olbers

(١) بالطبع يمكننا أن نبقى على قيد الحياة لملايين السنين في المستقبل ونحافظ اصطناعيّاً على بيئة صالحة للحياة، لكننا نتحدث حينئذ عن خبرتنا التقنية المبنية على أساس صلاحية الحياة وقابلية القياس المضبوطتين بدقة لعصرنا الحالي.

(٢) كان أولبرز يعيد فعلاً صياغة سؤال مماثل طرحه جان فيليب ليز دو شوزو (Jean Philippe Leys de Cheseaux) من لوزان عام ١٧٤٤م، «لماذا السماء مظلمة؟». ظلّ علماء الفلك يطرحون هذا السؤال بشكل أو بآخر منذ كبلر على الأقل.

Paradox). يبدو أنّ السّماء المظلمة أمر متناقض لأنّ الكون الثّابت والأبدي المليء بعدد لا حصر له من النّجوم على نحو منتظم ـ أي: الكون المفترَض من قبل العديد من العلماء ـ يجب أن ينتج سماء مشرقة بشدّة، ليلاً ونهاراً. وقد فشلت الكثير من الحلول المقترحة لهذه المفارقة.



● الشكل ٩,٧: أعلاه: على الرغم من أن كبلر كان أوّل من وصف مفارقة ظلام السّماء اللّيلية، فإنّ ما كتبه أولبرز كان أكثر وضوحاً. لنفترض قوقعة كرويّة من النّجوم حول الأرض. مقارنة بقوقعة أقرب، وعلى نفس القدر من الكثافة، كلّ نجم في قوقعة أكثر بُعداً سيبدو أكثر خفوتاً، لكنّها ستحتوي على المزيد من النّجوم؛ لذلك فإنّ كل قوقعة تالية ستكون مشرقة بقدر القوقعة الدّاخلية. وبالتّالي إذا كان الكون لانهائيّ العمر والحجم، فلماذا السّماء اللّيلية مظلمة جدّاً؟ أسفله: مشهد تلسكوبي افتراضي عالي القدرة في كون لانهائي وأبدي. في مثل هذا الكون، يواجه كل خطّ أفق سطح نجم معين. وكلّ بقعة من السّماء ستكون مشرقة كسطح الشّمس. إنّ كوناً كهذا سيكون معادياً للحياة والاكتشاف العلمي.

فعلى سبيل المثال، ادّعى البعض أنّ الغاز والغبار المتدخّليْن يحجبان ضوء النّجوم. لكن أصبح واضحاً أنّه نظراً للوقت الكافي، حتّى هذه المادّة الخاملة ستبدأ في التّوهج السّاخن والمشرق مع الطّاقة الممتصّة من سرب لا نهائيّ من النّجوم.

مكّن الفهم الحديث لكونٍ بماضٍ محدود، والذي ابتدأ مع اكتشافات هابل في وقت مبكر من القرن الماضي، الفلكيين وعلماء الكونيّات لحل هذه المعضلة التي طال أمدها. فالأمر ببساطة، أنّه لا توجد مفارقة إذا كان الكون ليس أبديّاً ولا لا نهائيّاً بالمعنى المطلوب. فالسّماء المظلمة في الواقع، هي دليل في حدّ ذاته على البداية.

وإلى جانب الإجابة عن لغز علمي معروف، فإنّه من الواضح أنّ هذه الحقيقة مهمّة بالنّسبة للحياة والاكتشاف على حدٍّ سواء. تخيّل فقط، العقبات التي ستواجهها الملاحظات التي توفّرها سماء مضيئة بقدر الشّمس. فإنّ حقيقة أنّ الكون ليس لا نهائيّاً أو أبديّاً هو بالضّبط ما يمكّننا من اكتشاف الكثير بشأنه، رغم حجمه الهائل. ويمكِننا التّمييز والفصل بين تنوّع المعلومات التي تُنقل إلينا من السّماء. ولكي لا ننسى الأوضح من ذلك، وهو أنّه من غير المرجّح لحياة يطغى عليها الإشعاع الشّديد في كون ساكن وأبديّ أن تزدهر. وبقدر ما كان اكتشاف كون متغيّر بماض محدود أمراً مذهلاً بالنّسبة لكثير من العلماء في بداية القرن العشرين، فقد تضافر مع مجموعة أخرى من الاكتشافات في تبديل الصّورة التي كان يرى بها الكثيرون الكون ووجودَنا نفسَه.

الفصل العاشر

توافق كوني دقيق للحياة والاكتشاف

وهناك في رأيي، دليل قويّ على وجود شيء ما وراء هذا كلّه.. كما لو أنّ شخصاً ما قد أحكم بدقّة أرقام الطّبيعة لصنع الكون.. فالانطباع الذي يتركه هذا التّصميم غامر على نحو صارخ.

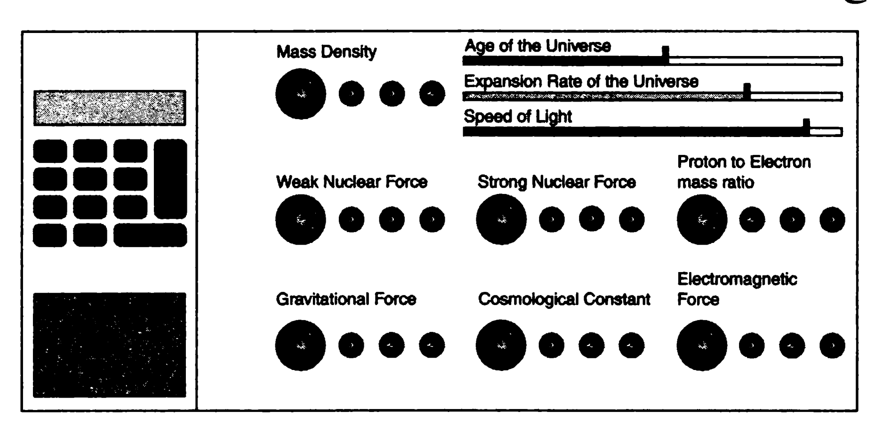
- بول ديفيز(١)

آلة صنع الكون:

تخيّل أنّه تمّ أخذك أسيراً من قبل بعض الغرباء الأقوياء، مثل Q في ستار تريك (Star Trek)، وهم مجموعة الكائنات فائقة الذّكاء مع كونها بغيضة تماماً، يوجدون كمجتمع موحد يسمى تسلسل Q. من بين مؤهّلاته العديدة، السّفر إلى الوراء عبر الزمن. في القصّة التي نختلقها، تخيّل أن الـQ ينقلك إلى لحظة الانفجار العظيم. وبعد الوصول، يأخذك أحد أعضاء الـQ إلى غرفة واسعة، مع جهاز كبير ومعقّد، على جانب واحد، مزيّن بعشرات أزرار الاختيار الكبيرة بخلاف التي تظهر في ماستر بادلوك. وفي تفتيش عن كثب، لاحظتَ أنّ كلّ مقبض منقوش بخطوط مرقّمة. وفوق كلّ مقبض توجد عناوين مثل «ثابت القوّة الجاذبة»، «ثابت القوة الكهرومغناطيسية»، «ثابت القوّة النووية الشّديدة»، و«ثابت القوّة النووية الضّعيفة». تسأل الـQ عن نوع الآلة، ثم بعد بعض التّعليقات حول ضعف العقل البشري، يخبرك أنّها آلة صنع الكون. وفقاً

(١) Paul Davies, *The Cosmic Blueprint: New Discoveries in Nature's Creative Ability to Order the Universe* (New York: Touchstone Books, 1989), 203.

للـQ، فقد قام تسلسل Q الجماعي الكبير باستخدامه لخلق كوننا. تحتوي الآلة على شاشة معاينة تسمح للـQ بعرض الإعدادات المختلفة التي ستنتج قبل الضّغط على زرّ البداية. ودون أن يدخل في تفاصيل كيفية عملها، يشرح Q أنّه ينبغي ضبط أزرار الاختيار بشكل دقيق، وإلا فإنّ الآلة ستخرج قطعة غير مرغوب فيها ولا قيمة لها (كما تبيّنه شاشة المعاينة)، ككون ينهار في غضون بضع ثوان في ثقب أسود واحد أو ينجرف إلى أجل غير مسمّى مثل خليط مهدرج مهدور.



● **الشكل ١٠,١: إحدى الطّرق لفهم الضّبط الدّقيق هي تخيّل آلة لصنع الكون تتوفّر على العديد من أزرار التّحكم، التي تحدّد كلّ منها قيمة قانون أساسي، أو ثابت، أو حالة بدئية. فتعمل الآلة على إنتاج كون صالح للحياة فقط في حال ضُبطت الأزرار على التّوليفة الصّحيحة للاختيارات. تنتج معظم الإعدادات أكواناً غير صالحة للحياة.**

فتتساءل: «حسنا، ما درجة الدّقّة التي يجب ضبط المقابض عليها؟». فيجيبك الـQ بشيء من الحرج، أنّهم وجدوا حتّى الآن، توليفة واحدة فقط تنتج كوناً بالكاد يكون قابلاً؛ لأن يُسكن بشكل معتدل؛ يعني: كوننا هذا. ثمّ تسأل قائلاً: «إذن، هل تعني أنّكم صنعتم كونين فقط من الأكوان الصّالحة للحياة، الأول يوجد فيه تسلسل Q والثّاني الذي نسكنه نحن»؟ فيعترف في خليط متقلب من الضّيق والغضب: «لا، هناك واحد فقط». وهو ما يثير شكوكك فتسأل مجدّداً: «والآن، ما نوع السّحر الذي سمح لكم بخلق كون أنتم أنفسكم موجودون فيه؟ وبعد أن يسحقه هذا الاستفسار القاطع المفعم بالمنطق وكشف الكلام الفارغ الحسّاس للغاية، يعترف عضو الـQ أخيراً:

«حسناً، في الحقيقة، نحن لم نجد التّوليفة بأنفسنا. كما أنّ الآلة ليست ملكنا. فقد عثرنا عليها ببساطة، وقد تمّ ضبطها مسبقاً. فقامت الآلة بعملها قبل مجيئنا. فكنّا نبحث منذ ذلك الحين، عن توليفة أخرى من توليفات الأزرار لخلق كون آخر قابل للسّكن، لكنّنا وللأسف لم نجد أي واحدة حتّى الآن. ونحن على يقين أنّ الأكوان الأخرى الصّالحة للحياة ممكنة، ورغم ذلك، فإنّنا ما زلنا بصدد البحث». توضّح هذه القصّة الخيالية إحدى الاكتشافات الأكثر إثارة للاهتمام في القرن الماضي: يبدو أنّ الكون، كما تصفه قوانينه وثوابته الفيزيائية، مضبوط بشكل دقيق (fine-tuned) لوجود الحياة. في القرن التاسع عشر، اعتقد العديد من العلماء أنه لا وجود لعلاقة أساسية بين الكون ووجودنا. وأنّ وجودنا ببساطة، أحد الأحداث التي طرأت في كون لا نهائي وأبدي. ومن الجليّ أنّ هذا يناقض الضّبط الدّقيق للكون.

يحيل الفيزيائيون أحياناً إلى هذا الضّبط الدّقيق للقوانين والثّوابت على أنّه «عدد كبير من الصّدف»، أو بشكل أقل دقّة، «مصادفات أنثروبية». لكن ما الذي يحيلون إليه؟ فمثلاً: حينما يقول الفيزيائيون: إنّ الجاذبية «مضبوطة بدقة» من أجل الحياة، فإن ما يقصدونه عادة هو أنّه لو كانت قوة الجاذبية ذات قيمة مختلفة قليلاً، لما كانت الحياة ممكنة[1] إذ لو كانت الجاذبية أضعف قليلاً؛ لانتشر التّوسع بعد الانفجار العظيم بسرعة كبيرة، مانعاً تشكّل المجرّات، والكواكب، وعلماء الفلك. ولو كانت أقوى قليلاً؛ لانهدم الكون وانهار، متراجعاً في غياهب النّسيان كعودة جرذ إلى حفرته في يوم شتوي. وفي كلتا الحالتين، فإنّ الكون لن يكون متوافقاً مع نوع التّعقيد المنظّم والمستقرّ الذي تتطلّبه الكائنات الحيّة.

وعلى وجه التّحديد، يعزو الفيزيائيون عادة قيمة ـ لنقل ـ الجاذبية النّسبية

---

(١) يوجد بعض اللبس فيما تعنيه تحديداً عبارة «دقيق الضبط» بالنسبة لمعاينات الكون. بالإضافة إلى ذلك، ومع أنه يبدو أن لفظ «دقيق الضبط» يستلزم ضمنيّاً ضابِطاً دقيقاً ـ أي: عميلاً ذكيّاً يقوم بالضبط الدقيق ـ فإن العديد من الفيزيائيين يستعملون اللفظ دون اعتبار هذا المعنى الضمني المقصود، سنتطرق لبعض هذه الإشكالات في الفصول اللاحقة.

إلى قوى أخرى، مثل الكهرومغناطيسية أو القوّة النووية الشّديدة. في هذه الحالة، يجب أن تكون نسبة الجاذبية إلى الكهرومغناطيسية مجرّد ما هي عليه لكي يكون وجود الحياة المعقّدة، كما نعرفها، أمراً ممكناً. ولو كان علينا اختيار هذه القيم فقط، عشوائيّاً، من المرجّح أنّنا ما كنّا لنجد تقريباً توليفة متوافقة مع الحياة أو أيّ شيء يشبهها. ونظراً للافتراضات السّائدة في علم القرن التّاسع عشر والعشرين، فإنّ اكتشاف الضّبط الدّقيق للكون كان **مفاجأة**. ومما يثير الدّهشة أنّ نطاق الأكوان (النّظرية) غير الصّالحة للحياة يتجاوز بشكل كبير نطاق الأكوان المماثلة لكوننا، المستضيفة للحياة. ملقىً على رياح الحظّ، الكون غير الصّالح للحياة عبارة عن حالة طبيعية بالمعنى الفلكي.

في الصفحات السابقة قمنا بتفصيل العديد من الأمثلة لما يمكن تسميته بالضبط الدقيق «المحلي»: تلك السمات التي تمتاز بها منصتنا الخاصة **داخل** الكون والتي تجعلها مواتية للغاية للحياة والاكتشاف العلمي. تركز معظم مناقشاتنا في الفيزياء، والفيزياء الفلكية، وعلم الكونيات، على تلك السمات بشكل خاص من الكون بكليته، والتي لا يمكن أن تكون إلا صحيحة ومضبوطة كي يكون كوناً صالحاً للحياة. وقد خصص العلماء كتباً مطولة لحالات هذا الضبط(١) لنلق نظرة على بعض منها.

الضبط الدقيق في الكيمياء:

على الرغم من تشكك بعض العلماء في أن الكون مضبوط لوجود حياة، فإنهم لم يشرعوا في جمع أمثلة محددة حتى القرن التاسع عشر(٢) في عمله

---

(١) لا يزال العمل الكلاسيكي حول هذا الموضوع هو:

John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological* Principle (Oxford: Oxford University Press, 1986).

(٢) يمكن القول بأن أهمّ النقاشات في القرن التاسع عشر حول البيئة المضبوطة بدقة للحياة كانت سلسلة Bridgewater Treatises. العدد الذي كان له أكبر تأثير على هندرسون هو:

W. Whewell, Astronomy and General Physics, Considered with Reference to Natural Theology (London, 1833).

صدرت الطبعة التاسعة منه سنة ١٨٦٤م.

سنة ١٩١٣م «الملائمة البيئية»، استعرض **لورانس هندرسون** الخصائص المعروفة للبيئة المتعلقة بالحياة، مركّزاً نظره على الكربون والماء. فمن خلال الاعتماد على كمية هائلة من البيانات المستمدة من الكيمياء ومقارنة خصائص الكربون والماء مع خصائص المواد الأخرى، بيَّن كيف يلائم هذان العنصران الكيميائيان الكائنات الحية، الفعلية أو النظرية؛ إذ سيكون لتغييراتٍ طفيفة في خصائصنها الكيميائية تأثيرٌ عميق على الملاءمة البيئية للحياة، وكما أشرنا في الفصل الثاني، فبعض العناصر الأخرى تتناسب أيضاً بشكل فريد مع أدوارها البيولوجية[(١)]

بالإضافة إلي كونها ضرورية للحياة، للكربون والماء خصائص مهمة أخرى. فعلى سبيل المثال، لدينا خامات دقيقة يمكن تنظيفها لأن الماء السائل مذيب نوعي (كما ناقشنا في الفصل الثالث) ـ وهي حقيقة جعلت التكنولوجيا العالية ممكنة. ومع أننا تجنبنا المناقشة عن «العلوم المخبريّة» حتى الآن، فإنه لا يمكننا تجنب ذكر دور الماء في تطور الكيمياء. طوال القرن التاسع عشر دخولاً في القرن العشرين، أمضى الكيميائيون معظم وقتهم في العمل على التفاعلات في المحاليل المائية. لو لم يكن في إمكان الماء أن يذيب مجموعة كبيرة من المواد، لكان تقدم الكيمياء يمشي بوتيرة حلزونية[(٢)]، وربما، لم يكن ليصل أبداً لرتبة علم[(٣)] وبالتالي؛ فالظروف التي جعلت من كوكبنا كوكباً

---

(١) انظر: نقاش مايكل دينتون في Nature's Destiny (New York: The Free Press, 1998) حول الملاءمة الفريدة للحياة عند الماغنيسيوم والكالسيوم والحديد والنحاس والموليبدينوم: ص١٩٥ ـ ٢٠٨. انظر كذلك: **J. J. R. Frauso da Silva and R. J. P. Williams, The Biological Chemistry of the Elements.Oxford: Oxford University Press, 1991.**

(٢) سيكون علينا البحث أيضاً عن استعارة أخرى؛ لأن الحلزونات/القواقع ما كانت لتوجد.

(٣) كان الماء أحد العناصر الأربعة الأساسية للأرض بالنسبة لليونانيين القدامى؛ بل ظلّ العلماء إلى حدود القرن الثامن عشر يعتقدون أن الماء مادة أساسية، أو عنصر. كان الماء المادة الأهم في مختبر الكيميائي، بعمله كوسيط كوني لدراسة التفاعلات. قام هنري كافنديش (Henry Cavendish) وجيمس واط (James Watt) وعلماء آخرون من أواخر القرن الثامن عشر، مُحفزين بافتتانهم الجديد بالكهرباء، بتمرير تيار كهربائي عبر الماء (وهي عملية تُدعى بالتحليل الكهربائي). فحصلوا من ذلك على غازَيْن، أحدهما قابل للاشتعال في حين أن الماء يختفي. وقد قاموا كذلك بإنتاج الماء بضم هذين الغازين في غرفة الشرارة. ثم أسمى العالم الفرنسي أنطوان لافوازييه لاحقاً هذين الغازين بالهيدروجين =

لائقاً للحياة قد ساهمت أيضاً في التطور السريع للكيمياء كعلم.

الكربون والأوكسيجين، المشهد الثاني:

ولكن مثل هذا الضبط الدقيق ليس قاصراً على علم الكيمياء. ففي ١٩٥٢ ـ ١٩٥٣م اكتشف **فريد هويل** الأمثلة الأكثر شهرة في الفيزياء(١) وفي تأمله

= والأوكسجين. وكنتيجة فقد الماء مكانته كعنصر ففرّق الكيميائيون بين العنصر والمركّب. علّق كاتب علم الطبيعة الشهير روذرفورد بلات (Rutherford Platt) على أهمية هذا الاكتشاف قائلاً: «إن انقسام جزيئة الماء إلى ذرتي هيدروجين وذرة أوكسجين ـ بوصفه علامة فارقة في سَيْر سبر أسرار الطبيعة ـ شبيهٌ بانقسام الذرة في زماننا. وقبل ذلك، لم يكن لدى العلماء أي معرفة بتركيبة الماء.. فأدّى H_2O إلى التعرف على العناصر والكيمياء المعاصرة». في

Water: The Wonder of Life (Engle wood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1971), 16.

(١) F. Hoyle, "On Nuclear Reactions Occurring in Very Hot Stars. I. The Synthesis of Elements from Carbon to Nickel," *Astrophysical Journal Supplement* 1 (1954), 121-146.

على الرغم أننا نعتقد أن هذا مثال ممتاز على الضبط الدقيق، فليس يتفق كل الفيزيائيين على هذا. على سبيل المثال، كتب ستيفن وينبرغ (Steven Weinberg) حديثاً عن رنين الكربون ـ ١٢ المُثار قائلاً: «لكن الحسابات الحديثة أظهرت، كما كان متوقعاً لوقت طويل، أنه بدون أيّ تكيّف دقيق لثوابت الطبيعة فإن للمرء أن يتوقع في كل الأحوال أن تكون لنواة الكربون حالة شبيهة بحالة الجزيئة غير المستقرة، التي تتكوّن من نواة الهيليوم ونواة البريليوم، والتي ستمتلك طبيعيّاً طاقة قريبة من القيَم الضرورية لتركيب الكربون والعناصر الثقيلة».

A Universe with No Designer," Cosmic Questions, J. B. Miller, ed. (New York: The New York Academy of Sciences, 2001), 171-172.

انظر كذلك: الحاشية في نهاية هذه الورقة العلمية. وتجدر الإشارة إلى أن يعرض موقفه بخصوص رنين الكربون في ورقة هي بالأساس ورقة هجائية مناهضة للدين. وبجداله حول هذا المثال للضبط الدقيق في سياق هجائي كهذا، فهو يقصد ضمنيّاً أن دليلاً حقيقيّاً على الضبط الدقيق سيكون غير مقبول ميتافيزيقيّاً عنده.

يقيم وينبرغ دعواه على الدراسات التالية:

S. H. Hong, and S. J. Lee, "Alpha Chain Structures in 12_C," Journal of Korean Physics 35 (1999): 46-48, & M. Livio, D. Hollowell, and J. Truran, "The Anthropic Significance of an Excited State of 12C," Nature 340 (1989): 281-284.

وخلافاً لهذه الدعاوى، فإن الدراسة التالية تستنتج أن رنين الكربون ـ ١٢ المُثار المذكور «رنين ألفا ثلاثي حقيقي» وبالتالي فهو ليس حالةً لذرة بريليوم ـ ٨ + ألفا: R. Pichler et al., "Three-alpha Structures in 12_C," Nuclear Physics A 618 (1997), 55-64؛ تمّ التوصل إلى نفس النتيجة بشكلٍ مستقلٍّ من طرف فيدوروف (D. V. Fedorov) وجنسن (A. S. Jensen)، في

"The Tree-Body Continuum Coulomb Problem and the 3á Structure of 12_C," Physics Letters B 389 (1996): 631-636.

انظر أيضاً: =

للمسار المطلوب لإنتاج الكربون والأوكسجين في التفاعلات النووية في المناطق الداخلية الساخنة للنجوم العملاقة الحمراء، توقع **هويل** بشكل صحيح أنه يجب أن يكون لطاقة الكربون ـ ١٢ النووية رنينٌ محددٌ جدّاً والذي لم يكن معروفاً في ذلك الوقت(١) الرنين النووي مجموعة من الطاقات التي تزيد جدّاً من فرص التفاعل بين نواة ونواة أخرى؛ على سبيل المثال، التقاط بروتون أو نيوترون. تسرع طاقة الرنين في النواة التفاعلات إذا كانت الجسيمات المتصادمة فيما بينها تتوفر على الطاقة الحركية المناسبة. تميل ظواهر الرنين إلى كونها ضيقة جدّاً، لذلك فإن التغييرات الطفيفة في موقعها يمكن أن تؤدي إلى تغييرات هائلة في معدلات التفاعل. قد يبدو هذا غامضاً، لكن إذا فكرت في تحطم كأس نبيذ زجاجي عندما تدق النوتة الصوتية الصحيحة. ذاك هو الرنين.

= H. Oberhummer, R. Pichler, and A. Csoto, "The Triple-Alpha Process and Its Anthropic Significance," Nuclei in the Cosmos V, N. Prantzos, ed., in press.

يعلّق هينز أوبرهامر (Heinz Oberhummer) قائلاً: «إن ورقة هونغ (Hong) ولي (Lee) تفحص فقط الحالات الدُّنيا لـ٨ Be و12C وحالة ٠ + الرنانة في 12C، بينما نعيد في نموذجنا إنتاج ظواهر الرنين الثلاثة المنخفضة لـBe٨ والحالات الإحدى عشر المقيّدة بالتكافؤ الطبيعي الأكثر انخفاضاً وظواهر الرنين لـ12C. وأخيراً، فإن النتائج المحصّل عليها من الطاقات المقيَّدة لألفا، وBe٨ و12C، في نموذج هونغ ولي بعيدة جدّاً من قِيَمهما التجريبية مما يجعل نموذجهما محل شكّ كبير. (بلاغ شخصي، ماي ١٦، ٢٠٠٢م). وبالتالي، فبخلاف رفض وينبرغ المتسرّع، فإن مثال الضبط الدقيق هذا، الذي يَجده صعب القبول ميتافيزيقيّاً، لا يزال قائماً.

في ورقة حديثة أخرى، يكرر روبرت كْلي الادعاء القائل بأن رنين الكربون ليس دقيق الضبط أبداً. ويعتمد كلي فقط على ورقة ليفيو وآخرون في زعمه. انظر:

Robert Klee, "The Revenge of Pythagoras: How a Mathematical Sharp Practice Undermines the Contemporary Design Argument in Astrophysical Cosmology," British Journal of the Philosophy of Science 53 (2002): 331-354.

تركز انتقاداته الأخرى للحجج الأنثروبية على الهوس الرقمي للعدد ١٠٤٠ لديراك (Dirac) وإدينغتون (Eddington) وويل (Weyl) في أوائل القرن العشرين، وعدم الإتقان الرياضي لبعض الكتاب الحديثين في التعامل مع مقارنات «القيم الأسية». وليس لأي من حججه تأثير على الأمثلة التي نقدمها في هذا الفصل. وكما هو الحال في مقالة فاينبرغ (Weinberg)، يَقطُر كلام كلي لهجة منافية للاهوت ونكهة تكاد تكون تآمرية، كما لو أن حجج التصميم مشكوك فيها بطبيعتها بسبب «دوافع لاهوتية خفية». سنرد على بعض الجوانب الأخرى من حجة كلي في الفصل الثالث عشر.

(١) تنبّأ تحديداً برنين ٧,٦٥ مليون إلكترون ـ فولت (MeV) فوق مستواه الخامد. يمثّل هذا التنبّؤ الصحيح لهويل أول تطبيق عملي للمبدأ الأنثروبي الضعيف مع أنه لم يصغ بعد.

تحدث هذه التفاعلات النووية في مرحلة من حياة النجوم عقب النسق الأساسي لاحتراق الهيدروجين، خلال ما يسمى باحتراق غلاف الهيليوم (helium-shell burning). تذكر أن شمسنا لن تدخل هذه المرحلة الأخيرة لأربعة أو خمسة مليارات سنة أخرى. لحسن حظنا، وصلت العديد من النجوم متوسطة وعالية الكتلة مسبقاً إلى هذه المرحلة فزودت مجرتنا بكمية هائلة من الكربون والأوكسجين. خلال هذه المرحلة المتقدمة لاحتراق غلاف الهيليوم، تكثر جسيمات ألفا (نوى الهيليوم) في الباطن العميق للنجم، فتخلق اصطدامات متكررة عالية الطاقة. عندما تصطدم نواتين من نوى الهيليوم، فإنها تشكل نواة البريليوم ـ ٨ غير المستقرة. وحتى هذا ممكن فقط لأن كتلة نواتي الهيليوم قريبة جدّاً من كتلة نواة البريليوم ـ ٨. فتبقى متحدة طويلاً بما يكفي (١٠ ـ ١٦ ثانية فقط) لتصطدم بجسيم ألفا آخر لتشكل الكربون ـ ١٢[(١)] لكن هذه النتيجة ليست كافية تماماً. ولأنه تفاعل ثلاثي الأجسام، فلا يمكن إنتاج الكربون ـ ١٢ دون رنين.

وكان عدم وجود رنين معروف على مستوى الطاقة المطلوبة لإنتاج الكربون هو ما أدى **هويل** إلى التوصل بتوقعه الشهير. بما أن الكون يحتوي على الكثير من الكربون، استنتج **هويل** أن مثل هذا الرنين يجب أن يوجد. ولو كان الرنين أقل قليلاً، لاحْتوى الكون على كمّية أقلّ من الكربون. في الواقع، تعتمد وفرة الكربون والأوكسجين الملاحظة على بضع صدف أخرى. اتضح أن عدم وجود رنين في الأوكسجين في طاقة جسيمات ألفا النموذجية في نجم معين يمنع استخدام الكربون كله حتى لتكوين الأوكسجين (ولحسن الحظ أن أقرب رنين منخفض قليلاً). ولو توقف الضبط هناك، فإن الكون سيبدد معظم الأوكسجين الخاص به حتى قبل أن يجد أي نظام نجمي الوقت للتفكير في استضافة الحياة. وكما ترى، تمنع بعض قوانين الانحفاظ الالتقاط

(١) لو كان البيريليوم ـ ٨ مستقرّاً، لكان إحراق الهيليوم شديداً بحيث يمنع استمرار التطوّر النجمي بعد هذه المرحلة.

السهل لجزيئات ألفا بواسطة الأوكسجين ـ ١٦ لتشكيل النيون ـ ٢٠، حتى مع وجود الرنين في النيون ـ ٢٠ في المكان المناسب. وإلا لبقي القليل من الأوكسجين.

ونتيجة لهذه «الصدف الأربع» المذهلة، تنتج النجوم الكربون والأوكسجين بكميات مماثلة. وقد أكد علماء الفيزياء الفلكية مؤخراً حساسية إنتاج الكربون والأوكسجين لطاقة الرنين الخاصة بالكربون. يمكن أن يؤدي تغيير في القوة النووية ـ الشديدة (القوة التي تربط الجسيمات في نواة الذرة) بأكثر من نصف واحد في المئة تقريباً، أو بنسبة أربعة في المئة، في القوة الكهرومغناطيسية (القوة الموجودة بين الجسيمات المشحونة)، إلى كون يتوفر إما على كربون أكثر من اللازم مقارنة بالأوكسجين أو العكس، وبالتالي فرصة ضئيلة لإمكانية وجود الحياة إن لم تكن معدومة[١] بما في ذلك التوافقات (tunings) الثلاثة الأخرى المطلوبة التي تضيّق زيادة هذا النطاق.

لاحظ أن المادتين اللتين ميزهما **هندرسون** سنة ١٩١٣م بتوفرها على الخصائص الكيميائية الأكثر استثنائية والصديقة للبيئة ـ الكربون والماء ـ

---

(١) يتمثل هذا التأكيد في حسابات عددية متسقة ذاتياً. انظر:

H. Oberhummer, A. Csoto, and H. Schlattl, "Stellar Production Rates of Carbon and Is Abundance in the Universe," *Science*289 (2000), 88-90. A. Csoto, H. Oberhummer, and H. Schlattl, "Fine-Tuning the Basic Forces of Nature Through the Triple-Alpha Process in Red Giant Stars," *Nuclear Physics A* 688 (2001), 560-562. H. Oberhummer, A. Csoto, and H. Schlattl, "Bridging the Mass Gaps at A = 5 and A = 8 in Nucleosynthesis," *Nuclear Physics A* 689 (2001), 269-279.

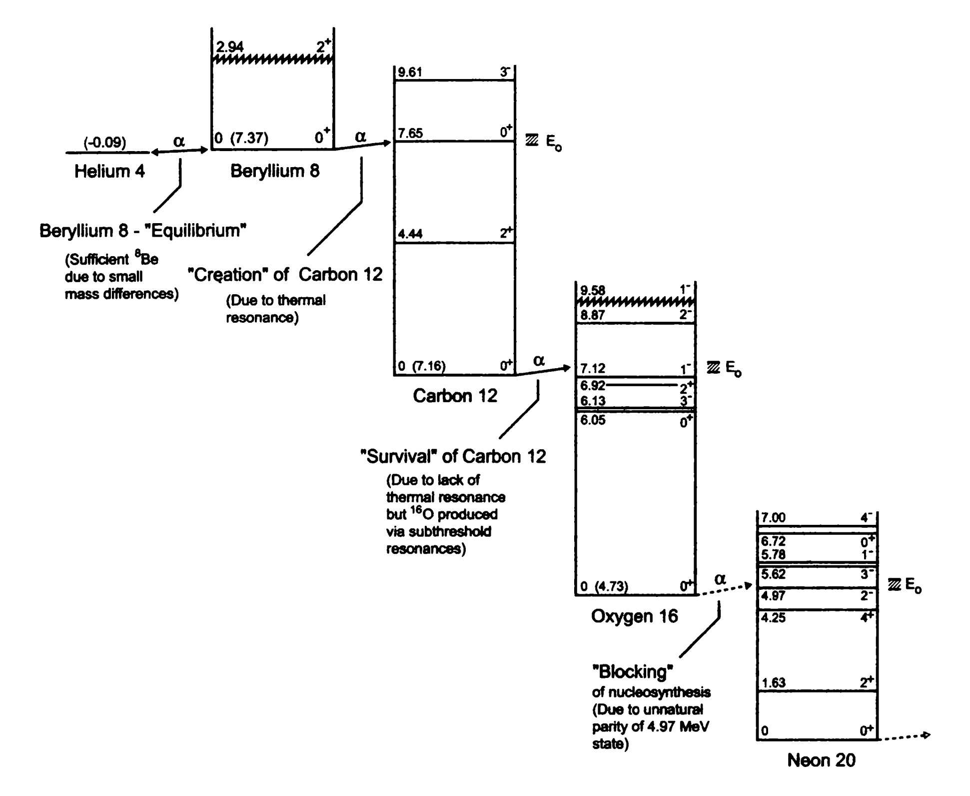
والدراسة الأحدث التي قاموا بها.

H. Schlattl et al., "Sensitivity of the C and O Production on the 3a Rate," *Astrophysics and Space Science*, in press.

يدرجون فيها مراحل إضافية من تطور النجوم لم يدرجوها في ورقتهما في دورية ساينس (*Science*). وكنتيجة، وجدوا أن لوفرات الكربون والأوكسجين حساسية أقل للتغيرات في طاقة رنين الكربون. ومن المثير للاهتمام أنهم وجدوا أيضاً بعض الحساسية في الكتلة النجمية الأولية الدنيا اللازمة لإنتاج سوبرنوفا. وهذا مجال غني للبحث الإضافي.

ومع أن نسبة الكربون إلى الأوكسجين في الأرض السائبة هي أصغر بكثير من النسبة التي تنتجها النجوم، فإن ما يهم هو القيمة التي في القشرة. الكربون أقرب بكثير من حيث الوفرة إلى الأوكسجين في القشرة. ومن المحتمل أن نسبة وفرتهما في القشرة تحددت بنسبة وفرات الكربون والأوكسجين في المذنبات والكويكبات، الأقرب إلى النسبة الشمسية.

ستفاجئان العلماء في وقت لاحق في مجال دراسة مختلف، كما هو الشأن بالنسبة لنوى الكربون والأوكسجين في النجوم. تقع المفاجأة الأولى تحت نطاق اختصاص الكيمياء؛ لأنه يتضمن فقط القوى الكهرومغناطيسية. بينما تحضر الثانية في الفيزياء النووية. وفي الواقع، تربط الأمثلة الأكثر شهرة للضبط الدقيق في الفيزياء النووية بين ما يسمى القوى الأساسية للطبيعة.



● الشكل ١٠,٢: التفاعلات النووية الأولية الداخلة في إنتاج نوى أثقل من الهيليوم في النجوم العملاقة الحمراء. تعطي الصدف الأربع المميزة الكون كميات مماثلة للكربون والأوكسجين. تم تمثيل مستويات الطاقة (بـMeV) والتكافؤ (J^{π}) بالنسبة لكل نواة. خلال «احتراق الهيليوم»، يتم بناء العناصر الخفيفة بالحصول على جسيمات α (نوى الهيليوم)، بدءاً من جسيمين اثنين من جسيمات α التي تشكل بانضمامها، نواة البريليوم ـ ٨ قصيرة الأجل جداً. توجد «الصدفة» في كل مراحل α الأربعة الملتقطة من البريليوم إلى النيون. والأكثر شهرة هو وجود رنين الطاقة النووية في نواة الكربون بطاقة مقدارها ٧,٦٥ MeV فوق الحالة البدئية. هذا الرنين يحسن كثيراً من احتمال أن تلتقط نواة البريليوم قصيرة الأجل جداً جسيماً α طاقياً.

دعونا ننطلق من البداية:

إن الأهمية التي تحظى بها «القوى الأساسية» ـ الجاذبية، والقوة النووية الشديدة، والنووية الضعيفة، والكهرومغناطيسية (يطلق الآن على هاتين الأخيرتين مجتمعتين في قوة واحدة، اسم القوة الكهروضعيفة electroweak force) ربما تجعل منها الأمثلة الأكثر شهرة في الضبط الدقيق. تؤثر هذه القوى على كل شيء في الكون تقريباً. ومثَل أخذ كل منها قيمة محددة لتمكن الكون من استضافة الحياة، كمثَل أجهزة المعايرة تلك على آلة خلق الكون.

القوة النووية القوية:

القوة النووية القوية (وتسمى في الغالب القوة النووية، اختصاراً) هي المسؤولة عن شد البروتونات والنيوترونات إلى بعضها في نوى الذرات. في مثل هذه الدوائر القريبة، تعد قوية بما يكفي لتتغلب على القوة الكهرومغناطيسية لتربط بين البروتونات المتنافرة موجبة الشحنة. وقوية بقدر ما هي قصيرة الأجل، ولا تمتد خارج نواة الذرة. ورغم أجلها القصير؛ فإن تغيير القوة النووية القوية له عواقب وخيمة متعددة، ومعظمها تضر بالحياة. وكمثال جيد لذلك، دورها في تنظيم الجدول الدوري للعناصر، رفيق طلاب الصف السابع في كل مكان.

وكتخليق الكربون والأوكسجين في النجوم، تفتح وفرة العناصر الثقيلة تفاصيل القوى النووية والكهرومغناطيسية. ولأنه لا توجد عناصر مستقرة بأوزان ذرية: خمسة وثمانية، لا يمكن تركيب الكربون ـ ١٢ إلا من خلال المسار الموصوف سابقاً. بنت النجوم العناصر الثقيلة من بقايا الكربون والأوكسجين. بغض النظر عن مربع الكربون، كان الجدول الدوري للعناصر ليبدو مختلفاً إذا تغيرت قوة نووية شديدة[1] ولو كانت أضعف، لقلَّت

---

(١) يمكن للمرء أن يتجاوز عائق الـ A = 5 مع الليثيوم ـ ٥ أو الهيليوم ـ ٥ بزيادة نسبة ١٠ في المئة في القوة النووية الشديدة. بالإضافة إلى ذلك، فظواهر الرنين في نواة الكربون ـ ١٢ متباعدة بحيث يمكن أن يُدخِل تغيّرٌ في القوة الشديدة بنسبة ١٠ في المئة تقريباً رنيناً (روبين كولينز، خطاب خاص). =

العناصر الكيميائية المستقرة[1]

تتطلب الكائنات الحية المعقدة حوالي سبعة وعشرين عنصراً كيميائيّاً، واليود أثقلها (عدده الذري ٥٣). بدلاً من الاثنين والتسعين عنصراً التي تحدث بشكل طبيعي، إذا كان الكون يتوفر على قوة شديدة وأضعف بنسبة خمسين في المئة، فإنه لن يحتوي إلا على عشرين إلى ثلاثين تقريباً[2] وهو ما من شأنه أن يلغي العناصر الضرورية للحياة: الحديد والموليبدينوم.

لو أن هذه هي النتيجة الوحيدة لقوة نووية شديدة أضعف، فبإمكاننا أن نستنتج أن الكون يتوفر على العناصر الكيميائية بضِعْف إلى ثلاث مرات أكثر ثقلاً واستقراراً مما تتطلبه الحياة المعقدة. لكن في كون ذي جدول دوري أصغر، ربما يكون هناك عنصر مشع أو أكثر من نظائر العناصر الخفيفة. العناصر الأكثر وفرة في الحياة الأرضية هي: الهيدروجين، والكربون، والنيتروجين، والأوكسجين. ولو أن أيّاً من نظائرها الرئيسية كانت غير مستقرة بعض الشيء (مع أنصاف أعمار تقاس بمليارات أو عشرات مليارات السنين)، يمكن أن يشكّل الإشعاع الناتج عن انحلالها خطراً شديداً على الكائنات الحية[3] في كوننا، من المحتمل أن البوتاسيوم ـ ٤٠ هو النظير المشع الخفيف الأكثر خطورة، ومع ذلك فهو الأكثر أهمية للحياة. لذلك فإن موازنة وفرته مسألة حرجة، ولا بدَّ أنها عالية بما يكفي لتساعد على تكتونية الصفائح

= بالطبع سيكون من اللازم أن يوجد رنين آخر في الموضع الصحيح من نواة الأوكسجين.

(١) Barrow and Tipler, 326.

(٢) لاحظ مع ذلك أن التخلص من الثوريوم واليورانيوم (بأعداد ذرّية ٩٠ و٩٢، على التوالي) لا يعني بالضرورة أن كوكباً أرضيّاً لن يتمكن من استمداد تدفئة كافية من الاضمحلال الإشعاعي لتحريك الصفائح التكتونية. يمكن استبدالهما بعناصر إشعاعية أخرى، مستقرة بطريقة أخرى في كوننا. لكن أنصاف أعمارها قد لا تكون مماثلة. من المرجح أن هناك نطاقات معينة للقوة النووية الشديدة لا تُنتج أي نظائر تتراوح أنصاف أعمارها بين مليار وعشرة ملايير من السنين.

(٣) لاحظ أن الكربون ـ ١٤ ليس إلا تهديداً متوسّطاً للحياة؛ لأن نصف عمره قصير. وبالتالي فإن أي كربون ـ ١٤ أنتِج في النجوم اضمحل منذ وقت طويل. وإن كان لا يزال موجوداً في بيئتنا فهذا لأنه يُوَلَّدُ باستمرار في غلافنا الجوي بكميات صغيرة.

ولكنها منخفضة بما يكفي بحيث لا تؤدي إلى تلويث الحياة إشعاعياً[١]

والأبعد من ذلك، ففي كون ذي قوة نووية شديدة أضعف، سيتوفر كل عنصر على عدد أقل من نظائره المستقرة. وكما ذكرنا سابقاً، فالتنوع الغني للعناصر الكيميائية ونظائرها المستقرة تساعد الباحثين بشكل كبير في قياس الظواهر الأرضية والكونية. لذلك فالجدول الدوري الكبير ليس مجرد مكيدة لطلاب العلوم في الصف السابع. ذلك أن عناصره تجعل الحياة ممكنة وتعزز بدرجة كبيرة قابلية القياس في الكون[٢]

القوة الضعيفة:

إن العديد من العمليات الرئيسية المتعلقة بشكل غير مباشر بالحياة حساسة بشكل خاص لشدة القوة الضعيفة[٣] فعلى سبيل المثال، تحكم القوة الضعيفة عملية تحول البروتونات إلى نيوترونات والعكس، وتفاعل النيوترونات مع جسيمات أخرى. تتدخل القوة الضعيفة عندما ينفجر نجم ضخم كالمستعر الأعظم ـ عن طريق الطاقة المودعة من طرف النيوترونات في الجزء الأمامي للصدمة المتوسعة ـ وعندما تنضم البروتونات والإلكترونات إلى باطن نجم. تسرع هذه العملية الانهيار الأولي، مما يسمح لهذه النجوم بإعادة طبقاتها

---

(١) مع أننا لن نناقش الأمر هنا، تضع مُتطَلّبات الحياة حدوداً مُعتبرة على نصف العمر الأدنى للبروتون نفسه.

(٢) من المرجح أنه توجد مشاكل أكثر في هذا الجوار العام. فالوفرات النسبية العليا لبعض النظائر المستقرة للعناصر الخفيفة يمكن أن يضعف كذلك صلاحية كوكب ما للحياة. وكما ذكرنا في الفصل السابق، يمكن أن يجعل الارتفاع الملحوظ في نسبة الكربون ـ ١٣ بالنسبة للكربون ـ ١٢ ثاني أكسيد الكربون والميثان غازات دفيئة أكثر فاعلية بكثير، وهو ما سيحرّك بدوره المنطقة حول النجمية الصالحة للحياة. ويمكن أن يكون للارتفاع الملحوظ في وفرات نظائر الهيدروجين والأوكسجين تأثيرات متشابهة. تعتمد المجموعة الخاصة لنسب النظائر التي دخلت في تكوين النظام الشمسي على تاريخ تكوّن نجوم مجرّة درب التبّانة وعلى تفاصيل التخليق النووي للعناصر داخل النجوم. وبالتالي، فإن تغيير أي عدد من الثوابت والقوى من شأنه أن يغيّر نسب النظائر بشكل كبير.

(٣) تم تقديم المثالين اللذين ناقشناهما في هذه الفقرة في الأصل من طرف ريس في:

"Large Numbers and Ratios in Astrophysics and Cosmology," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* A 310 (1983): 101-112.

قمنا بتمديد نقاشه قليلاً هنا.

الخارجية الغنية بالمعادن إلى المجرة. وبدونها، لن يكون هناك ما يكفي من العناصر الأساسية المتاحة للحياة.

تعتبر القوة الضعيفة أمراً حاسماً في إنتاج الهيليوم ـ ٤ البدائي بفترة قصيرة بعد الانفجار العظيم، في قدر كوني ساخن وكثيف بما يكفي لحدوث التفاعلات النووية السريعة. يمكن أن تؤدي التعديلات الطفيفة في التوسع الكوني أو في الفيزياء النووية إلى نهاية مختلفة تماماً. في كوننا، أنتج الانفجار العظيم الباكر حوالي خمسة وعشرين في المئة من الهيليوم ـ ٤ من حيث الكتلة. قد تنتج التغيرات في القوة الضعيفة كوناً بنسبة مختلفة من الهيليوم. على الرغم من أن النجوم كانت تقوم بتدوير الغاز البينجمي لحوالي ١٣ مليار سنة، فإن كمية الهيليوم قد ازدادت في الكون بنسبة ضئيلة فقط. لذلك فإن كل النجوم التي تشكلت في كوننا تتوفر على كميات مماثلة من الهيليوم.

يحدد هذا المتغير سطوع النجم وعمره في النسق الأساسي وما يسمى بعلاقة السطوع ـ الكتلة النجمية، وكلها مهمة لصلاحية الكوكب للحياة[١] رجوعاً إلى الأساسيات؛ فالخاصية الوحيدة الخاصة بالنجم والتي تؤثر على مدار الكوكب هي كتلته، في حين أن الخاصية الوحيدة التي تؤثر على تدفئة سطح الكوكب هي سطوعه. ترتبط هاتين الخاصيتان من خلال علاقة السطوع ـ الكتلة، والتي تعتمد بدورها، على تركيبة نواة النجم. تضيء نجوم الهيليوم؛ كالمصابيح، بسرعة وبإشراق. في المقابل، تبدو نجوم الهيدروجين مثل الشموع. تستهلك شمسنا التي تحرق الهيدروجين وقودها النووي أبطأ بأكثر من واحد في المائة من نجم هيليوم نقي ذي كتلة مماثلة. إن نجم الهيليوم بكتلة مناسبة لن يدوم طويلاً كفاية لتطوير الحياة. ولا لإمكان أن تتطور الحياة حول مثل هذا النجم على أي حال: فهي لن تحتوي على الماء أو المركبات العضوية، مما يجعل تشكُّل الحياة على أي نطاق زمني أمراً مستحيلاً. ليس

---

(١) بالنسبة للنجوم الشبيهة بالشمس، يرتفع السطوع تقريباً إلى القوة الرابعة للكتلة. تؤثر علاقة الكتلة ـ السطوع على صلاحية الكواكب الشبيهة بالأرض عبر ديناميات الكواكب (عبر كتلة النجم)، وحرارة المساحات الكوكبية (عبر سطوع النجم) وعمر النجم في النسق الأساسي.

من الواضح حتى أن النجوم يمكن أن تتشكل من تكاثف السّحب الغازية في كون يملؤه الهيليوم النقي. بخلاف الهيدروجين، لا يشكل الهيليوم الجزيئات، التي تعد الوسائل الأساسية التي تساهم في تبريد السّحب البينجمية الكثيفة، وبالتالي تكاثفها لتشكيل النجوم.

الجاذبية:

الجاذبية هي القوة الأقل أهمية على نطاق صغير لكنها الأهم على نطاقات أوسع. يمكن أن تهيمن الجاذبية على القوى الأخرى فقط لأن قوى الجاذبية الضعيفة للجسيمات المنفردة تضاف أيضاً إلى الأجسام الكبيرة. يجب أن تكون الجاذبية، مثل القوى الأخرى، مضبوطة لتلائم الحياة. لنتفكر في دورها في النجوم. النجم في حالة توازن مؤقت بين الجاذبية والضغط الذي يوفره الغاز الساخن (الذي يعتمد بدوره على القوة الكهرومغناطيسية). يتشكّل النجم من كمية من الغاز عندما تطغى الجاذبية على قوى الضغط والاضطراب، فتتسبب في تكاثف الغاز واتحاده.

ولما يصبح الغاز أكثر تركيزاً، فإنه يصبح في النهاية حارّاً جدّاً لدرجة أن نواه تبدأ في الاندماج، محررة الإشعاع، الذي يسخن الغاز. ماذا يمكن أن يحدث للنجوم إذا كانت قوة الجاذبية أقوى بمليون مرة؟ يخمن **مارتن ريس** (Martin Rees)، عالم الفلك البريطاني قائلاً: «سيكون عدد الذرات اللازمة لصنع نجم (مفاعل اندماج مقيد جاذبيّاً) سيكون أقل بمليار مرة.. في هذا العالم ذي الجاذبية القوية الافتراضية، الأعمار النجمية أقصر بمليون مرة. بدلاً من العيش لمدة عشرة مليار سنة، فإن نجماً عادياً سيعيش لمدة عشرة آلاف سنة. وإذا كانت الشمس أصغر فستحترق بشكل أسرع، وتستنفذ طاقتها حتى قبل أن تأخذ الخطوات الأولى في التطور العضوي مجراها»[1] ومثل هذا النجم سيكون أكثر سطوعاً ألف مرة من الشمس، ودرجة حرارة سطحه أشد

---

(١) Martin Rees, *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe* (New York: Basic Books, 2001),30-31.

ثلاث مرات، وواحد من عشرين كثافتها. تعتبر هذه الشمس المصغرة بالنسبة للحياة، مجرد «نجم ناري»، يحترق بشدة وبسرعة كبيرة. أما إذا كانت جاذبية الكون أضعف فإنه سيعاني من مشاكل معكوسة.

تنقل معظم النجوم الطاقة المتولدة في أعماق نواها إلى سطوحها بواسطة عمليتين: الإشعاع والحمل الحراري. ففي حالة الشمس، ينقل الإشعاع الطاقة في معظم الطريق، لكن الحمل غالباً ما يستحوذ على عشرين في المئة الخارجية منها. لاحظ عالم الكيماويات **براندون كارتر** (Brandon Carter) لأول مرة مصادفة مثيرة للاهتمام وهي أن النجوم ذات الكتلة المتوسطة تقع بالقرب من الخط الفاصل بين نقل الطاقة الحرارية والإشعاعية. وهذا الخط الفاصل مأزق آخر: توازن يتأرجح بين الجاذبية والكهرومغناطيسية(١) إذا انزاح بشكل ما أو بآخر، فإن نجوم النسق الأساسي إما ستكون كلها زرقاء أو حمراء (الحمل الحراري الناتج عن النجوم الحمراء). وفي كلتا الحالتين، ستكون النجوم بدرجة حرارة سطح الشمس وسطوعها في النسق الأساسي نادرة أو غير موجودة.

وسيكون هذا بالتأكيد خسارة بالنسبة لمارثا ستيوارت ومحبي الأصفر الآخرين. لكن هل سيكون الكون المزين جيداً للرابع من يوليو/تموز أقل صلاحية للحياة من كوننا؟ ومن المؤكد أن النجوم الحمراء كانت لتوفر ظروفاً أقل صلاحية للحياة، للأسباب التي ذكرناها في الفصل السابع (كتباطؤ بناء الأوكسجين في الغلاف الجوي للكوكب). يمكن أن تكون النجوم الزرقاء جدّاً معادية للحياة؛ لأنها ستنتج الكثير من الأشعة فوق البنفسجية الضارة، رغم أنه

(١) يعتمد هذا الخط الفاصل على نسبة ثوابت البنية الدقيقة الكهرومغناطيسية إلى البنية الدقيقة التجاذبية مرفوعةً إلى الأس العشرين. انظر:

B. Carter, "Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology," in Confrontation of Cosmological Theories with Observation, M. S. Longair, ed. (Reidel, Dordrecht, 1974), 291-298.

انظر أيضاً:

B. J. Carr and M. J. Rees, "The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World," *Nature* 278 (1979) 611.

لا يزال بإمكان النجوم الأكثر زرقة بشكل معتدل، أن تكون داعمة الحياة[١] وسبق أن بيّنا مدى فائدة طيف الشمس بالنسبة للعلم، مقارنة بالنجوم الزرقاء أو الحمراء للغاية.

وماذا عن الكواكب؟ يمكن أن تؤدي الجاذبية الأكثر قوة إلى سطح جاذبية أقوى لكوكب بكتلة الأرض، كما أنها ستعزز أيضاً الضغط الذاتي للكوكب، مما يزيد الجاذبية السطحية بشكل أكبر. يلاحظ **مارتن ريس** أن الجاذبية القوية لكوكب أرضي يمكن أن تمنع الكائنات الحية من النمو[٢] كما يمكن لمثل هذا الكوكب أن يعاني أيضاً من اصطدامات متكررة ذات سرعة عالية من المذنبات والكويكبات. ومن المرجح أنه سيحفظ المزيد من الحرارة، مما قد يؤدي إلى نشاط بركاني زائد. وبطبيعة الحال، يمكن تجنب هذه المشاكل بوجود كوكب أصغر مع جاذبية سطحية مماثلة للأرض. لكن كوكباً بهذا الحجم سيفقَد الحرارة الداخلية بسرعة أكبر[٣]، مانعاً تكتونية الصفائح طويلة الأمد.

إن تعديل الجاذبية لا يغير النجوم والكواكب فقط، ولكنه يغير الكون ككل. فمثلاً، يجب أن يكون توسع الكون متوازناً بعناية مع التباطؤ الناجم عن الجاذبية. وإذا كانت طاقة التوسع مفرطة فإن الذرات ستتناثر قبل أن تتمكن النجوم والمجرات من التشكل؛ وإذا كانت ضعيفة جدّاً، فإن الكون سينخسف قبل أن تتمكن النجوم والمجرات من التشكل كذلك[٤] ويجب أن تكون تقلبات الكثافة في الكون عندما تشكلت الخلفية الكونية الميكروية أيضاً ذات

---

(١) قدم كارتر حجّة تنبؤية على الأهمية الأنثروبية للخط الفاصل الحملي: اقترح كارتر أن النجوم المنجذبة نحو النسق الأساسي ينبغي أن تكون حملية حتى تتكوّن الكواكب حولها. لا يزال هذا الاقتراح يفتقر إلى الدعم التجريبي والنظري على السواء، مع أن المعاينات المستقبلية يمكن أن تدعمه. في أي حدث، يمكن أن يُسبِّب أيضاً التغييرُ في القوة النسبية بين الجاذبية والكهرومغناطيسية إلى تغيير علاقة الكتلة ـ السطوع النجمي.

(٢) Rees, *Just Six Numbers* 30.

(٣) هذا بسبب نسبة مساحة سطحها إلى حجمها الكبيرة. سيكون لكوكب بنصف حجم الكرة الأرضية حوالي ثمن كتلتها وربع مساحة سطحها، فينتج عن ذلك ضِعْف نسبة مساحة سطحه إلى حجمه.

(٤) انظر: Figure 6.1 of Rees, *Just Six Numbers* 87.

مقدار معين (a certain magnitude) بالنسبة للجاذبية لضمها في المجرات لاحقاً وبالنسبة لنا لنكون قادرين على التقاطها[١] تتعلق قدرتنا على قياس إشعاع الخلفية الكونية الميكروي بصلاحية السكن في الكون؛ فلو كانت هذه التقلبات أصغر للغاية، لما كنا هنا.

الصراع الكوني:

كما سبق وناقشنا، على نطاقات أكبر، يشهد الكون صراعاً بين قوة التجاذب للجاذبية والقوة التنافرية للطاقة المظلمة أو طاقة الفراغ. ويسمى عادة بالثابت الكوني، والذي تم وصفه نظرياً بأنه نتيجة لطاقة فراغ غير منعدمة قابلة للكشف على مقاييس كونية، وهو أحد العوامل الكونية القليلة التي تحدد دينامية الكون ككل. حدّد الفلكيون من خلال مراقبة مستعرات Ia، أنّها اليوم تسهم في دينامية الكون بقدر قوة الجاذبية للمادة المرئية والمادة المظلمة مجتمعتين. لا تزال الصدفة بلا تفسير، لكن بعض علماء الكون يعتقدون أنها تندرج تحت «التفسير الأنثروبي»[٢] هناك زمن «خاص» واحد فقط في تاريخ الكون عندما كانت كثافة طاقة الفراغ والطاقة ـ المادة متساوية، ونحن نعيش قريباً جدّاً منه. لو أصبحت طاقة الفراغ عالية قبل بضعة مليارات من السنين مما هي عليه في كوننا، لما كانت هناك مجرات. ولو أنها تجاوزت الجاذبية في وقت سابق قليلاً كذلك، لما وجدت نجوم فردية.

تبدو بضعة مليارات سنة مساحة شاسعة للمناورة، لكن يوجد مستوى لافت للنظر بشكل أكبر للتوافق الدقيق هنا. «المشكلة الثانية للثابت الكوني»

(١) M. Tegmark, and M. J. Rees, "Why Is the Cosmic Microwave Background Fluctuation Level 10-5?" *Astrophysical Journal* 499 (1998): 526-532.

(٢) A. Vilenkin, "Cosmological Constant Problems and Their Solutions," based on talks at "The Dark Universe" (Space Telescope Institute) and PASCOS-2001 (hep-th/0106083).

بالطبع فإن «تفسيراً أنثروبيّاً» يفسّر فقط سبب عيشنا في هذه الفترة الأكثر صلاحية للحياة. ولا يفسّر كيف أن هذا الكون مُعَدّ لتكون له فترة صالحة للحياة. وما يدعو للأسف أن علماء الكونيات غالباً ما يضببون هذا الفرق. نناقش هذه النقطة في الفصل الثالث عشر.

هي أن القيمة الملاحظة لطاقة الفراغ تقدر ما بين ١٠^٥٣ و١٠^١٢٣ مرات أصغر مما كان متوقعاً من الناحية النظرية. إن كثافة طاقة الفراغ، في الأساس، هي كثافة طاقة الزمكان في غياب الحقول الناتجة عن المادة[١] حتى أظهرت نتائج المستعرات Ia قبل بضع سنوات أن الثابت الكوني هو شيء آخر غير الصفر، فكان معظم علماء الكونيات يأمل أن تتطلب بعض قوانين الفيزياء غير المكتشفة أن يكون منعدماً بالضبط. وكانوا يعلمون أن الحد الأعلى للرصد كان أصغر بكثير من القيم «الطبيعية» المتوقعة من مختلف مجالات الجسيمات والمجالات النظرية الأخرى. تتطلب مجالات الجسيمات هذه درجة غير عادية من الضبط الدقيق ـ على الأقل جزءاً واحداً من ١٠^٥٣ ـ للحصول على قيمة صغيرة، موجبة، غير منعدمة لطاقة الفراغ. وفي الوقت نفسه، يجب أن تكون قيمتها كبيرة بما فيه الكفاية في الكون القديم لتؤدي إلى توسع الكون الحديث بشكل أسي، كما تفترض نظرية التضخم (inflation theory). أما الكيفية التي ترتبط بها القيمة الحالية لطاقة الفراغ بالتوسع القديم فلا تزال قضية أخرى من النقاش.

الضبط المتعدد (multi-tuning):

في معظم تحليلات الضبط الدقيق الخاص بشدة القوى وثوابت الطبيعة، هناك معامل واحد فقط مضبوط في نفس الوقت (لكي يسهل أكثر تتبع الإشكالات). وهذا يوافق تعديل أحد أزرار الاختيار على لوحة مفاتيح آلة صنع الكون دون تغيير باقي الأزرار. إن كلّاً من أمثلة الضبط الدقيق هذه وإن كان ينظر إليها مستقلة عن بعضها، مثيرة للإعجاب. لكن قيم كل الثوابت وشدة القوى في الكون الحقيقي يجب أن تكون في وقت واحد كي يكون الكون مضيافاً للحياة.

فعلى سبيل المثال: يجب تعيين القوة النووية الشديدة وفق حدود دقيقة

---

(١) V. Sahni and A. Starobinsky, "The Case for a Positive Cosmological Λ-Term," *International Journal of Modern Physics* D9 (2000): 373-444.

لكي تستطيع النجوم إنتاج الكربون والأوكسجين بكميات مماثلة، ولإبقاء البريليوم ـ ٨ مقيداً لمدة ١٠ ـ ١٦ ثانية على الأقل، وللحفاظ على الديوتيرون، وللسماح بأصغر جدول دوري يكفي للحياة، وللحفاظ على استقرار النظائر الخفيفة الوافرة، والحفاظ على ثنائي ـ بروتون (di-proton) غير مقيد. وكل واحدة من هذه العوامل ذا نطاق ضيق. والنطاق الذي تتحقق فيه جميعها في وقت واحد أصغر من ذلك بكثير؛ كالرصاصة التى تصيب الهدف. وبإضافة النطاق الذي تتطلبه شدة القوة الضعيفة فإن الهدف يصبح أضيق، وكذلك بالنسبة للقوى الأخرى[١] ثم إن أضفنا المتطلبات الخاصة للحياة البسيطة (كيمياء الماء والكربون) فإنه سيصبح أضيق بكثير، وأكثر من ذلك للحياة المتقدمة وكذا التكنولوجية[٢]

وفي النهاية، سيكون بين أيدينا مجموعة من المعادلات، تصف كل واحدة قيداً مختلفاً على قوانين الطبيعة والذي يسمح لها بإتاحة الحياة[٣]

---

(١) وُضِع المخطط الأول للضبط الدقيق ذا بارامترين (القوى الضعيفة في مقابل القوة الشديدة) من قبل دافيز (P. C. W. Davies) في أوائل السبعينيات. انظر: الشكل ٥,٧ في The Anthropic Cosmological Principle : . للاطلاع على مثال على التغير المتزامن في شدات القوة الكهرومغناطيسية والقوة الشديدة، انظر: الشكل ٥ من:

M. Tegmark, "Is 'the Theory of Everything' Merely the Ultimate Ensemble Theory?" *Annals of Physics* 270 (1997) 1-51.

(٢) من المثير للاهتمام أن بارامترين اثنين فقط يحددان الكيمياء كلها، وهما شدة القوة الكهرومغناطيسية ونسبة كتلة الإلكترون بالنسبة لكتلة البروتون.

(٣) يمكن القول: إن التجمع الأكثر تأثيراً للضبط الدقيق يحدث على مستوى الكيمياء. ففي الواقع، تبدو الكيمياء «محددة زيادة» (overdetermined) بمعنى: أنه لا توجد بارامترات فيزيائية حرة لتحديد العمليات الكيميائية المتعددة التي ينبغي أن تكون كذلك (كالتي ناقشناها في الفصل الثاني). يلاحظ ماكس تغمارك، «بما أن الكيمياء كلها تتحدد أساساً ببارامترين اثنين α وβ [ثابت القوة الكهرومغناطيسية ونسبة كتلة الإلكترون إلى كتلة البروتون]، فإنه يبدو إذن كما لو أن هناك حلاً لمشكل يزيد عدد معادلاته (أي: لا يساوي) عدد مجاهيله. ويمكن اعتبار هذا دعماً لـTOE [نظرية كل شيء] صنف ٢ القائمة على الأساس الديني، مع حجة أنه قد يكون غير محتمل في نظريات كل شيء الأخرى جميعها» (Tegmark, 15). يصنف تيجمارك نظريات كل شيء إلى صنف ١، «العالم المادي رياضي تماماً»، وصنف ٢، «العالم المادي ليس رياضيّاً تماماً». ويعتبر الصنف الثاني بوصفه مؤسساً بدافع المعتقد الديني.

(وتحديد مجموعة المعادلات الكاملة يمكن أن يكون هدف العلم الواحد الأكثر أهمية. وسنضع هذا كتمرين للقارئ)[١] وبينما لا يزال الفيزيائيون يفتقرون إلى الدراية النظرية للقيام بالحسابات الكاملة، من غير المحتمل أن تؤدي الثوابت الفيزيائية المتعددة أو القوى الأساسية المتغيرة في آن واحد إلى كون صالح للحياة ككوننا.

رصدت الفلكية **فرجينيا تريمبل** (Virginia Trimble) في النقاش المبكر حول الضبط الدقيق:

> إنّ التّغيّرات في هذه الخصائص المطلوبة تسبب في عواقب وخيمة غالباً ما تكون قيماً أسّيّة مختلفة، لكنّ القيود لا تزال معتبرة نظراً للمجال الواسع جدّاً للأرقام المعنيّة. وإنّ الجهود المبذولة بغرض تجنّب مشكلة واحدة عن طريق تغيير عدّة قيود في نفس الوقت من شأنه أن يخلق ـ بشكل عام ـ مشاكل أخرى. وهكذا فإنّه يبدو من الواضح أنّنا نعيش في عالم متوازن دقيق، من وجهة نظر استضافة الحياة الكيميائية[٢]

---

(١) وهناك طريقة أخرى للتفكير في الضبط الدقيق للقوى وهي اعتبار التغيرات على مستويات أساسية أخرى. على سبيل المثال، يُعتقد أن القوى الأساسية هي تجليات مختلفة لنفس القوة. تصبح القوى مميزة عند طاقات منخفضة (ومع ذلك فإنه ليس من الواضح أن الجاذبية يمكن أن تكون مصنوعة لتناسب هذا المخطط). وهكذا، يمكن وصف التغيرات المنفصلة في شدات مجموعة من القوى (الضعيفة والكهرومغناطيسية مثلاً) بالتغيرات في شدة قوة واحدة عند طاقات أعلى (كالقوة الكهروضعيفة). ولا يكون القدر المطلوب من الضبط الدقيق مختزلاً؛ بل يكون موحداً ضمن عدد قليل من البارامترات. للاطلاع على مثال لهذا النوع من التحليل، انظر:

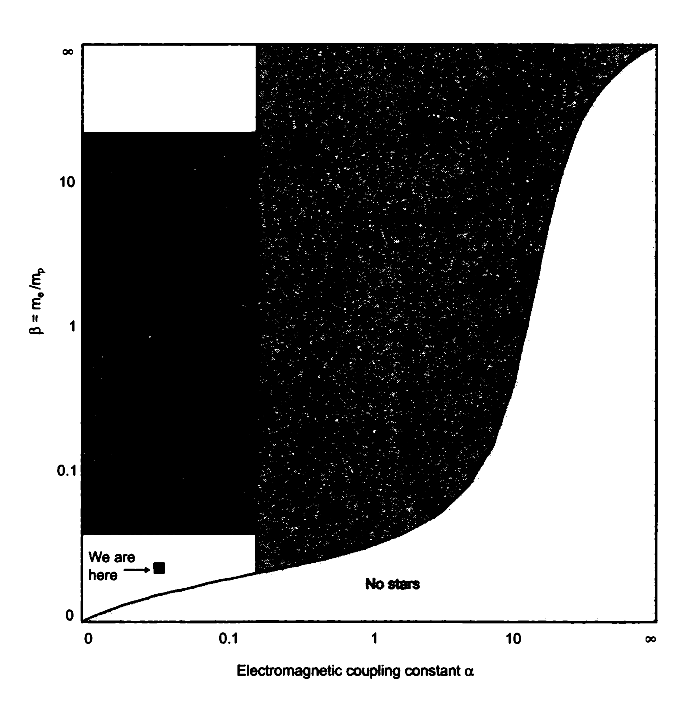
V. Agrawal et al., "Anthropic Considerations in Multiple-Domain Theories and the Scale of Electroweak Symmetry Breaking," ***Physical Review Letters*** **80 (1998), 1822-1825.**

ويشير تحليلهم إلى أن الحياة على مستويات القيم الأسية المتعددة في شدة القوة الكهروضعيفة التي اعتبروها، ممكنةٌ فقط ضمن مجال ضيق؛ وهم يقيمون هذا الاستنتاج على حجج كتلك التي ناقشناها في النص فيما يتعلق باستقرار الديوتيرون والدي بروتون، من بين تأثيرات أخرى. لكن حتى كان من الممكن أن تتحد كل القوى في نظرية موحَّدة كبرى، فإنها لن «تفسر» الصدف. يكتب كار (Carr) وريس (Rees)، «ومع ذلك، فحتى إذا أمكن تفسير جميع الصدف الأنثروبية الظاهرة بهذه الطريقة، فإنه لا يزال من الملحوظ أن العلاقات التي تُمليها النظرية الفيزيائية هي أيضاً الملائمة للحياة» ("The Anthropic Principle," 612).

(٢) Virginia Trimble, "Cosmology: Man's Place in the Universe," *American Scientist* 65 (1977): 85.

ويخلص جون غريبون ومارتن ريس إلى استنتاج مماثل:

إذا قمنا بتعديل إحدى قيم الثّوابت الأساسية، فإنّ شيئاً ما سيكون خاطئاً دائماً، ممّا يؤدّي إلى كون لا يقبل استضافة الحياة كما نعرفها.



● **الشكل ١٠،٣: مبيان الضبط المتعدد لنسبة كتلة الإلكترون إلى البروتون (β) وثابت التقارن الكهرومغناطيسي (α) (electromagnetic coupling constant) ويسمى أيضاً بثابت التركيب الدقيق (fine structure constant). تشغل الأكوان ذو البنيات المنظمة منطقة صغيرة. وهي تتطلب أن تكون (β) أقل بكثير من واحد، وإلا فسيكون لنوى الذرات مواقع غير مستقرة. تبدو قيم (β) الكبيرة متسقة مع البنيات المنظمة؛ لأنه يفترض أن الإلكترون يحل محل النواة، لكن الراجح أن هذا مستحيل بالنسبة للعناصر الأكثر تعقيداً من الهيدروجين. يجب أن تكون (α) أيضاً أصغر بكثير من واحد للحفاظ على الإلكترونات في الذرات من أن تصبح نسبوية (relativistic). وتظهر منطقة الاستبعاد الثالثة الرئيسية في الرسم البياني المجال الذي لا يمكن أن توجد فيه النجوم. (تم تمثيل المحاور المماس قوس اللوغاريتم لـ(β وα).**

عندما نعدل ثابتاً ثانياً بهدف حل المشاكل فإن النتيجة عموماً هي خلق ثلاث مشاكل جديدة لكل مشكلة نحاول «حلها» لذلك فظروف كوننا تبدو ملائمة بشكل استثنائي لأشكال الحياة كوجودنا مثلاً، أو حتى لأي شكل من

أشكال الكيمياء العضوية[1]

إننا نميل للتفكير في القوانين والعوامل أنها تحكم الكون بشكل عام، لكن كما رأينا؛ فالتغيرات في هذه المتغيرات الكونية ذات عواقب شديدة على أجسام خاصة داخل الكون. لا تؤثر التغيرات في نسبة قوة الجاذبية إلى الكهرومغناطيسية على العمليات الكونية فحسب؛ بل أيضاً على المجرات والنجوم والكواكب. والنتيجة، أننا في النهاية لا يمكننا خلع كيمياء الحياة من جيوفيزياء الكواكب أو الفيزياء الفلكية النجمية.

ومع أننا ألقينا نظرة سطحية فقط، فمن الواضح أن هناك العديد من الأمثلة المتعلقة بالضبط الدقيق على «النطاق الكوني» في الكيمياء، وفيزياء الجسيمات، والفيزياء الفلكية، وعلم الكونيات. إن معظم المناقشات التي نشرت في مثل هذا الضبط تقتصر على متطلبات الحياة، ولكن الضبط الدقيق الكوني يمتد إلى ما هو أبعد من مجرد صلاحية الحياة.

الضبط الدقيق من أجل الحياة والاكتشاف العلمي:

إن قدرة الكون المذهلة بالنسبة للاكتشاف تعتمد أيضاً على الأشكال الخاصة للقوانين وقيم الثوابت الفيزيائية. وقد سبق وأشرنا إلى هذا، لكن الأمر منتشر جداً، حتى في أسس المسألة نفسها. فوجود حالات منفصلة للطاقة على المستوى الكمي مثلاً، يسمح للفلكيين باستخراج معلومات مفصلة من الأجسام الباعثة للضوء بواسطة التحليل الطيفي. ينتج عن الانتظام الذري بصمة طيفية مميزة لكل عنصر وجزيء. تخبرنا الأطياف النجمية الكثير عن الكون كما بينّا في الفصل السابع.

لاحظ عالم الفلك **ميلن**[2] (E. A. Milne) أنه إذا أنتجت قوانين الطبيعة عالماً مجهرياً لا كمياً يتميز بتوزيعات للطاقة المستمرة ـ لو كانت الذرات تتصرف مثل الكواكب في مدارات حول النجوم، وتفتقر لحالات

---

(١) J. Gribbon and M. Rees, *Cosmic Coincidences* (New York: Bantam Books, 1989), 269.

(٢) E. A. Milne, *Relativity, Gravitation, and World-Structure* (Oxford: Clarendon Press, 1935), 37.

الطاقة المنفصلة ـ لكان التحليل الطيفي أداة قليلة الفائدة للغاية.

إن حقيقة امتياز كل نوع من الجسيمات الأساسية بكتلة، تعزز بقدر كبير القياس العلمي. وهذا يسمح للفلكيين بتطبيق نتائج التجارب المخبرية على سطح الأرض إلى أبعد أجزاء الكون وأقدمها. وبما أن وجود العناصر، وبالتالي الحياة، يعتمد على الحالات الكمية المتميزة واستقرار كتلة الجسيمات الأساسية، فإن صلاحية الحياة وقابلية القياس أمران مقترنان على ما يبدو.

الكربون والأوكسجين، المشهد الثالث:

ناقشنا سابقاً عدة أمثلة لصفات الكربون والماء التي تيسر الحياة، اللذان يعتبر وجودهما شديد الحساسية للقوانين الفيزيائية. وكما ذكرنا أعلاه، ساهم الماء ـ وهو المذيب الكوني الذي يحتوي على ذرتي هيدروجين لكل ذرة واحدة من الأوكسجين ـ في تغذية مَنْبِت كل من الكيمياء والتكنولوجيا العالية. لكن الكربون والأوكسجين يساهمان فُرادى في قابلية قياس الكون كذلك. يساعدنا النظير الكربون ـ ١٤، على سبيل المثال، في تأريخ الكائنات الحية؛ لأن لها نصف عمر مماثل للوقت الذي تستغرقه المادة العضوية المدفونة لتتحلل. يوفر الكربون ـ ١٤ أيضاً معلومات حول التاريخ الحديث للبيئة خارج الأرضية؛ لأنه سريع التأثر بالإشعاع القادم من المجرة والشمس وتفاعله مع الحقل المغناطيسي للأرض. تُعد حبوب كربيد السيليكون في النيازك، المصادر الرئيسية لعينات من الأجيال السابقة للنجوم، ونسب النظير الكربون ـ ١٢ المشفر لربط الحبيبات قبل الشمسية مع التي تم الحصول عليها من الأطياف النجمية. فبدون هذه النظائر، ستكون النيازك بمثابة سجلات تاريخية قليلة الفائدة.

وأخيراً، تعتبر ذرات الكربون المرئية في السّحب الغازية البينجمية البعيدة، في مقابل النجوم الوهمية الخلفية أفضل مجسات درجة حرارة الخلفية الميكروية في انزياحات مختلفة نحو الأحمر. يتمتع الأوكسجين أيضاً ببعض الصفات المستحبة.

يتميز الغلاف الجوي لكوكب غني بالأوكسجين، بخلاف العديد من

البدائل، بالنفاذية للضوء البصري مما يتيح رؤية واضحة للكون الواسع. بينما يعتبر جزيء أول أكسيد الكربون (CO)، مع ذرة واحدة من الكربون وذرة واحدة من الأوكسجين، أفضل قائف للغاز الجزيئي الكثيف في الوسط البينجمي وحول النجوم الصغيرة.

الأبعاد:

من وجهة نظر تجريدية قليلاً، يبدو أن الكون الصالح للحياة يجب أن يتوفر على ثلاثة أبعاد للفضاء بالضبط[١] في الواقع، كانت هذه الرؤية أحد أقدم الأمثلة على التفكير الأنثروبي المطبق على الفيزياء. في عام ١٩٥٥م تساءل **ويترو** (G. J. Whitrow) عما إذا كانت أبعاد كوننا مرتبطة بوجودنا، كما تساءل **إهرنفست** (P. Ehrenfest) سابقاً عام ١٩١٧م عن كيفية اعتماد قوانين الفيزياء على أبعاد الفضاء[٢] والحال أن مجموعة من الظواهر تقف عند هذه الحقيقة: قانون التربيع العكسي للجاذبية، واستقرار الذرات، ومعادلات الموجة، وغيرها.

و«الأكوان المتحدّاة بُعديّاً» (dimensionally challenged universes) البديلة، مُوهِنة لدرجة أنها لا تعادي الحياة فحسب؛ بل إنها تبطل مجرد نقل المعلومات. يكتب **جون بارو** (John Barrow): يظهر أنه وحدها العوالم ثلاثية الأبعاد تمتلك الخصائص «اللطيفة» اللازمة لنقل الإشارات عالية الدقة بسبب تحقّق انتشار التّرددية (رَجْع الصّوت) (reverberationless) واللّاتشوّهية[٣]

(١) J. D. Barrow, "Dimensionality," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 310 (1983), 337-346.

انظر أيضاً:

Barrow and Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* 258-276.

(٢) P. Ehrenfest, "In What Way Does It Become Manifest in the Fundamental Laws of Physics That Space Has Three Dimensions?" *Proceedings of the American Academy of Science* 20 (1917) 683. G. J. Whitrow, "Why Physical Space Has Three Dimensions," *British Journal for the Philosophy of Science* 6 (1955) 13031.

(٣) Barrow, "Dimensionality" 341.

في المبدأ الأنثروبولوجي الكوني، يصف بارو (Barrow) وتِبلر (Tipler) قيمة أخرى لعالم منخفض الأبعاد (low-dimensional world) كعالمنا تساعد الفيزيائيين النظريين، والتي يسمونها «الفعالية غير =

(distortionless). بالنّسبة للمستمعين الهواة، تشير هذه المصطلحات إلى جودة الصّوت في المجسِّمات، لكنّها تنطبق كذلك على جميع الظّواهر الموجية. تحدث التّردادية عندما تصل الإشارات المنبعثة في أوقات مختلفة، في آن واحد؛ تَشوُّه الإشارة عبارة عن تحوّل في شكل الموجة عند انتشارها. يسلّم الفلكيون بمصداقية المعلومات التي يحملها الضّوء عبر الكون. من المؤكّد أيضاً أنّ الحياة تتطلّب دقّة عالية في انتقال الإشارات العصبية، كما اقترح **ويترو**. يسمح الكون ثلاثي الأبعاد، بخلاف الإمكانات البديلة، بتدفّق المعلومات مع حدٍّ أدنى من الضّجة والإزعاج.

وقد ارتأى النّظريون أيضاً الإمكانات البديلة لبعدنا الزّمني[١] كما رأينا في الفصل التّاسع، تساهم محدودية واتّجاه الزّمن الكوني في صلاحية كوننا للحياة. يبدو من المعقول أن تغيّر عدد أبعاد الزّمن (على فرض إمكان هذا) من شأنه أيضاً أن يعقّد بشكل كبير العلاقات بين السّبب والنّتيجة وبالتّالي جعل التّنبؤ أكثر صعوبة إن لم يكن مستحيلاً. ففي الواقع، التّنبؤ الآمن الوحيد في مكان كهذا هو أن التّنبّؤات الدّقيقة لم تكون ممكنة.

قابلية الاكتشاف:

في الفصل الأول، ميّزنا بإيجاز بين قابلية الرصد، وقابلية القياس، وقابلية الاكتشاف. أشار **بول ديفيز**، ربما بشكل أكثر وضوحاً من غيره، إلى سمات كوننا التي سهلت اكتشاف قوانين الطبيعة[٢] إن اكتشاف قانون متعلق بشكل كبير ببساطته. ساعدت قوانين التربيع العكسي للجاذبية والمجالات

= المعقولة للتحليل البُعدي». والتحليل البعدي تقنية رياضية تسمح للفيزيائيين بتقدير مقاييس الكميات الفيزيائية دون معرفة الصيغة الدقيقة. إن مثل هذه العملية قد لا تكون ممكنة في كون مع عدد كبير من الأبعاد. انظر:

Barrow and Tipler, The Anthropic Cosmological Principle, 270-272.

(١) M. Tegmark, "On the Dimensionality of Spacetime," *Classical and Quantum Gravity* 14 (1997). L69-L75.
يواصل تيجمارك النظر في أكوان محتملة بأعداد مختلفة لأبعاد الزمن.

(٢) Paul Davies, *The Mind of God: The Scientific Basis for a Rational World* (New York: Simon & Schuster, 1992).

الكهربائية في الإفضاء إلى الاكتشافات المبكرة للقانون العالمي للجاذبية ومعادلات ماكسويل. فقد تم تسهيل الرحلة من **كبلر** إلى **نيوتن** ثم **آينشتاين**، وليس فقط من خلال الخصائص الخاصة ببيئتنا المحلية بل أيضاً من خلال البساطة الرياضية للجاذبية. وفي الوقت نفسه، ليست قوانين الفيزياء بسيطة لدرجة منع التنوع والتعقيد الضروريين للحياة.

وقد تطلبت صياغة **كبلر** لقوانينه أن يكون من الممكن أن تصف القوانين «الكلاسيكية» الأجسام العيانية في كوننا بشكل محدد ـ أي: تلك القوانين المتعلقة بالمواضع والحركات المستقلة والقابلة للقياس. ويقول ديفيز: إنه لا ينبغي للمرء أن يفترض أن أي كون يظهر من حالة كمية أولية، أنه سيبدي في وقت لاحق خصائص كلاسيكية[1]

قال **هارلو شابلي**(Harlow Shapley) مرة مذهولاً: «إنه لأمر مدهش كيف يمكننا تطوير كبرى الأفكار والتكهنات منطقيّاً على هذا الكوكب ـ أفكار عن كيمياء الكون كله ـ عندما يكون بين أيدينا عينة صغيرة كهذه»[2] وبالمثل، يؤكد **بول ديفيز** أن نجاح العلم يعتمد على «محلية» و«خطية» القوانين الفيزيائية. إذ يكتب **ديفيز** بخصوص المحلية:

> كثيراً ما يقال: إنّ الطّبيعة متحدة، وأنّ العالم كله مترابط. وهذا صحيح على نحو معيّن. لكن الحال تقتضي أيضاً أنّنا نستطيع وضع إطار فهم مفصّل جدّاً للأجزاء المفردة للكُل دون الحاجة إلى معرفة كلّ شيء. والعلم بالطّبع، ما كان ليكون ممكناً مطلقاً لو أنّنا لم نتمكّن من المضي قدماً على مراحل تدريجية[3]

وبعبارة أخرى، يمكننا أن نكتشف الحقائق التي تتخلّل جميع أنحاء الكون من خلال فحص عيّنة محليّة نموذجية فقط. تتّخذ معظم قوانين الفيزياء

---

(١) Davies, *The Mind of God*, 159.

(٢) Harlow Shapley, *Of Stars and Men: Human Response to an Expanding Universe* (Boston: Beacon Press, 1958), 94.

(٣) Davies, *The Mind of God* 156-157.

أشكالاً خطّية بسيطة. ولو كانت بخلاف ذلك لسادت الفوضى، ولن نتمكّن من استقراء هذه الملاحظات «المحلّية» في الزّمان أو المكان. ولن يكون في وسعنا التّنبؤ على نحو موثوق بمدارات الكواكب في المستقبل البعيد أو إعادة بناء حركاتها السّابقة. كنّا لنكون مقيّدين بملاحظاتنا المباشرة والمحدودة. لكنّنا لسنا كذلك.

ترتبط الخطية والمحلية ارتباطاً وثيقاً باستقرار الطبيعة على المدى الطويل، وهو شرط آخر للحياة والاكتشاف. تعتمد قدرتنا على تأسيس قوانين الطبيعة، على استقرار هذه القوانين[١] (ففكرة وجود قانون للطّبيعة يستلزم استقراره). وبالمثل، يجب أن تظلّ قوانين الطّبيعة ثابتة لما يكفي من الوقت لتوفير نوع الاستقرار الذي تتطلّبه الحياة ببناء طبقات التّعقيد المتداخلة. فخصائص وحدات التّعقيد الأكثر أساسية التي نعرفها، الكواركات، يجب أن تبقى ثابتة بهدف تشكيل وحدات أكبر، والبروتونات والنيوترونات، التي تبدأ بعد ذلك ببناء وحدات أكبر، والذرّات، وهكذا، وصولاً إلى النّجوم والكواكب، وإلى البشر بمعنى معين. توفر مستويات التّعقيد الدّنيا البنية وتحْمل معلومات الحياة. لا يزال هناك قدر كبير من الغموض حول كيفية ترابط مختلف المستويات، لكنّ الواضح أنّه في كلّ مستوى، يجب أن تبقى البنيات مستقرّة على نطاقات واسعة من الزّمان والمكان[٢]

---

(١) وقد قدم جورج إليس (George F. R. Ellis) هذه النقطة (بصورة عابرة فقط)، فينضم بذلك إلى نصف دزينة أو نحو ذلك من الناس الذين لمّحوا إلى العلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس. انظر:
"The Anthropic Principle: Laws and Environments," in *The Anthropic Principle: Proceedings of the Second Venice Conference on Cosmology and Philosophy*, F. Bertola and U. Curi, eds. (Cambridge: Cambridge University Press), 31.

(٢) في سياق الحديث عن معدل تبريد الكون المتوسع، يناقش هوبيرت ريفز (Hubert Reeves) المتطلبات الدنيا لنمو التعقيد. يتمثل المتطلب الرئيسي في تكون بنيات اللاتوازن. إذا كان بطيئاً جدّاً، سيكون هناك افتقار للتنوع الذري والجزيئي: ستتكوّن المادة كليّاً من الناتج النهائي لتفاعلات التوازن، الحديد. وإذا كان سريعاً جدّاً، لن يكون من الممكن أن تتشكل البنيات الكبيرة مثل الكواكب والنجوم والمجرات.
وبالتالي، فإن الضبط الدقيق مطلوب في معدل التبريد لكي يكون التعقيد ممكناً. لكننا لا نتفق مع اقتراح ريفز بأن «مبدأ التعقيد» ينبغي أن يحل محل المبدأ الأنثروبي؛ لأننا أكثر من مجرد بنيات =

إنّ هذا الكون لا يحتوي فقط على بنيات معقّدة؛ بل يحتوي أيضاً بشكل مفصّل على طبقات متداخلة متطوّرة من التّعقيد العالي والعالي جدّاً. فلننظر إلى ذرّات الكربون المعقّدة، ضمن السّكّريات والنيوكليوتيدات التي لا تقلّ عنها تعقيداً، داخل جزيئات الحمض النووي الأكثر تعقيداً، داخل النّوى المعقّدة، داخل الخلايا العصبية المعقّدة، داخل الدّماغ البشري المعقّد، التي تنضم إلى بعضها بشكل متكامل في جسم الإنسان. إن مثل هذا «التّعقيد» سيكون مستحيلاً سواءً في كون فوضوي وغير مستقرّ تماماً أو في كون متجانس وبسيط تماماً، مؤلف مثلاً من ذرّات الهيدروجين أو الكواركات. والمثير للدّهشة، أنّ كوننا يسمح بمثل هذه الدّرجة العالية من التّعقيد إلى جانب اللاحَتميّة الكمّية (quantum indeterminacy) والتّفاعلات اللّاخطية (مثل الدّينامية الفوضوية)، التي تميل إلى خلخلة استقرار التّعقيد المنظّم[1] وبطبيعة الحال، على الرغم من أن قوانين الطبيعة مستقرّة، وبسيطة وخطّية بشكل عام مع سماحها بالتّعقيد الضّروري للحياة - فإنّها تتّخذ أشكالاً أكثر تعقيداً. لكنّها

= معقدة؛ بل نحن بشر مراقبون يستطعون التحدث عن صدف الضبط الدقيق. انظر:

"The Growth of Complexity in an Expanding Universe," in *The Anthropic Principle: Proceedings of the Second Venice Conference on Cosmology and Philosophy*, F. Bertola and U. Curi, eds. (Cambridge: Cambridge University Press), 67-84.

(١) يمكن للبعض أن يجادل أن الحياة تزدهر عند حدود الاستقرار والفوضى. ومن المؤكد أن الكون الصالح للحياة لا يتطلب الاستقرار المطلق لثوابت الطبيعة. يمكن أن يكون مسموحاً ببعض عدم الاستقرار عند مستوى صغير. بالفعل، تشير الملاحظات الأخيرة لخطوط الامتصاص المشاهَدة إزاء الكوازارات البعيدة إلى أن ثابت البنية الدقيقة قد تغير بشكل طفيف على مدى تاريخ الكون. انظر:

J. K. Webb et al., "Further Evidence for Cosmological Evolution of the Fine Structure Constant," *Physical Review Letters* 87 (2001) 190-301.

للاطلاع على تحليل الحساسية في إنتاج الانفجار العظيم للعناصر الخفيفة بالنسبة للتغيرات في ثابت البنية الدقيقة، انظر:

K. M. Nollett and R. E. Lopez, "Primordial Nucleosynthesis with a Varying Fine Structure Constant: An Improved Estimate," *Physics Reviews D* 66 (2002) 063507.

لمراجعةٍ حول القيود المتنوعة على التغيرات المحتملة في ثابت البنية الدقيقة، انظر:

G. Fiorentini and B. Ricci,: "A Constant That Is Not a Constant?" *Proceedings of ESO-CERN-ESA Symposium on Astronomy*, Cosmology and Fundamental Physics, Report No. INFNFE-07-02 (astro-ph/020739).

يكشف الفيزيائيون في بحثهم عن الاختبارات الرصدية لثابت بنية دقيقة متغير، عن أمثلة جديدة للضبط الدقيق.

عادة ما تكون كذلك فقط في مناطق الكون البعيدة عن تجاربنا اليومية: آثار النّسبية العامّة في البيئات عالية الجاذبية، والقوّة النووية الشّديدة داخل النّواة الذّرّية، والتّفاعلات الميكانيكية الكمّية بين الإلكترونات في الذّرّات.

وحتى في هذه المناطق النائية، ما زالت الطبيعة تقودنا نحو الاكتشاف. ففي المجال الأكثر تعقيداً لميكانيكا الكم على سبيل المثال، يمكننا وصف العديد من التفاعلات في معادلة شرودنجر البسيطة نسبيّاً. ويتحدث **يوجين فيغنر** بشكل مشهور عن «لا منطقية فاعلية الرياضيات في العلم الطبيعي»[(١)] - يمكننا الإضافة بأنه لا منطقي عند من يفترض أن الكون لم يكتب على نحو منطقي. كان **فيغنر** مذهولاً ببساطة الرياضيات التي تصف آلية الكون والسهولة النسبية في اكتشافنا لها. تحَدّث الفيلسوف **مارك شتاينر**، في «تطبيقية الرياضيات كمشكلة فلسفية» (*The Applicability of Mathematics as a Philosophical Problem*)، عن تأملات **فيغنر** مع أمثلة مفصلة للصلات الوثيقة والقوة التنبؤية الخارقة للرياضيات البحتة إذا طُبّقت على قوانين الطّبيعة[(٢)]

التّعَنْقُد التّراتبي (hierarchical Clustering):

يحدّد التّوازن الدّقيق لقوى كوننا وثوابته الكيفية التي تتوّزع بها المادّة. يحقّق هذا التّوزيع توازناً موفّقاً بين الانتظام والتّنوّع، وبين التّجانس و«التّكتّل». في كتابه «ستّة أرقام فقط» (*Just Six Numbers*)، يطرح **مارتن ريس** سؤاله: «لماذا يتّسم كوننا بالانتظام العامّ الذي يجعل علم الكونيات علماً قابل للطّرق، ومع ذلك يسمح بتشكّل المجرّات والعناقيد والعناقيد الهائلة؟»[(٣)] ووجهة نظره هذه ذات مغزى. إذا كانت المادّة موزّعة بالتّساوي في الكون،

---

(١) Eugene Wigner, "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences," in *Symmetries and Reflections* (Bloomington: Indiana University Press, 1967), 222-237.

(٢) Mark Steiner, *The Applicability of Mathematics as a Philosophical Problem* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1998).

(٣) Rees, *Just Six Numbers*, 123.

سنناقش وننتقد بعض افتراضات ريز في الفصل الخامس عشر.

كما قد ينتج إذا كان معدّل التّوسّع في الكون أسرع بداية، فإنّه لن يكون بإمكان البنيات الضّرورية مثل المجرّات والنّجوم والكواكب والصّخور أن تتشكّل وستتعذر قابلية القياس بشكل لا يمكن قياسه. وفي الحدّ الآخر، إذا كان اختلال توازن القوى يسبب تجمع المادّة كلّها في كتلة متجانسة من النيوترونيوم أو ثقب أسود عملاق؛ فإنّ الحياة ستستحيل وكذا قابلية القياس. قد يعتقد المرء أن مجموعة واسعة من التّوافقات يمكن أن تتجنّب هذين الطّرفين النّقيضين، ولكن توزيع المادّة وخصائصها في الكون يجب أن تكون مضبوطة في كلتا الحالتين.

في الواقع، إن سلّم المسافات الكونية الذي تمّ وصفه سابقاً لا يعمل فقط لأن المادة ميّالة إلى التجمّع في كوننا لا بالشّكل القليل جدّاً ولا بالكثير؛ بل يعمل لأنّ الكتل نفسها تتجمّع، وذلك وفق قيم أسية متعدّدة. ينتُج هذا التجمّع الهرمي للمادّة قمماً في توزيع المادّة على مقاييس الحجم الخاصّة بالأقمار والكواكب والنّجوم والعناقيد النّجمية والمجرّات التّابعة والمجرّات وعناقيدها. لقد كانت هذه الأجسام الدّرجات التي تسلّق عليها علماء الفلك في سلّم المسافات من سطح الأرض إلى حدّ الكون المرئي. ولو أنّ المادة لم تتجمّع على مقاييس الحجم بين الكواكب والمجرّات الصّغيرة، لما وُجدت هناك نجوم. وسيكون الكون مكاناً أقلّ قابلية للقياس، ناهيك عن كونه أقل صلاحية الحياة.

يساعد التجمع على الاكتشاف بطرق أخرى. فالكون بتوفره على مادّة متجمعة أكثر شفافية من كون أقلّ تجمعاً. فلنعتبر مذنّباً مثلاً. لماذا يبدو مذنب كهيل ـ بوب (Hale-Bopp) ساطعاً جدّاً في السّماء ليلاً؟ إنّ عرض النّواة الصّلبة للمذنّب النّموذجي قد يقدّر ببضع عشرات من الكيلومترات. لكنّ المذنّب يضيء مع اقترابه من الشّمس لأنّ أجزاء منه تتفكّك إلى عدد لا يحصى من جزيئات الغبار الصّغيرة. تعكس هذه الجسيمات أشعّة الشّمس بسبب القاعدة الهندسية الأبدية القائلة إنّ نسبة مساحة السّطح إلى الحجم تزداد مع تناقص حجم الجسم. وهكذا، عندما يبدأ مذنب في التّفكّك، تزداد المساحة

الإجمالية لسطحه بشكل كبير. لو كان الكون بالمثل، بحراً من الجسيمات الصّلبة، لوجد الإشعاع صعوبة في قطع سنة ضوئية واحدة قبل أن تتمّ مضايقته حتّى الموت من طرف كرة الغبار الكونية.

في حقيقة الأمر، في مثل هذا الكون السديمي والمغبرّ، سيكون قياس المسافة التي يبعد بها أي شيء أمراً صعباً. كما لاحظنا في الفصل السابع، يمكن للفلكيين أن يقيسوا بشكل فعال مواقع النجوم جزئيّاً؛ لأن أحجامها تصغّر جدّاً المسافات الفاصلة بينها، مما يوفر تبايناً واضحاً في سماء الليل. ومن ناحية أخرى، لا توفر السدم المنتشرة في المجرات إلا قليلاً من هذا النوع من التباين. ولو أننا وجدنا أنفسنا في سديم كهذا، أو في كون سديمي نسبيّاً، فإن السماء ستكون فوضى مضطربة.

ساعد التجمع **كبلر** على استنباط القوانين البسيطة لحركة الكواكب لأن الكتلة النموذجية للكوكب لا تشكّل سوى جزء صغير من كتلة الشمس. ولما خلص **نيوتن** إلى قانون الجاذبية بعد بضعة عقود من صياغة **كبلر** لقوانينه، اكتشف أن نماذج **كبلر** الرياضية لنظامنا الشمسي لم تكن كاملة. وخلافاً لافتراض **كبلر**، فالشمس لا تقع بالضبط في إحدى بؤرتي الإهليلج لكنها تتمايل قليلاً كرد فعل لها إزاء الأجسام المحيطة بها. ومربع الفترة المدارية لكوكب لا يتناسب تماماً مع مكعب نصف محوره الأكبر. ولحسن الحظ أن كتل الكواكب منخفضة بما يكفي وهي بعيدة بما يكفي عن بعضها بحيث يقل بينها التجاذب المتبادل. ونتيجة لذلك، فقد كانت تقريبات **كبلر** أكثر من مُناسِبة لتفسير ملاحظات **تيكو براهي** إلى أن أمكن إجراء ملاحظات أكثر دقة وبفضل درجة التجمع التراتبي في نظامنا الشمسي كانت معدلات **كبلر** كافية جدّاً لكي تتيح للفلكيين مواصلة تتبع امتداداتها إلى أن يتيسر التعامل مع تعقيداتها الثانوية، فيسهل حلها في إطار قوانين نيوتن (من خلال نظرية الاضطراب perturbation theory) لو أن كوننا لم يُجمِّع معظم مادته في سلسلة من النقاط المفصولة على طول مقياسه الحجمي، لكانت فروق الحجم بين النجوم والكواكب صغيرة جدّاً على الأغلب بما لا يسمح **لكبلر** أن ينجح.

وقد لاحظ الفيلسوف **روبن كولينز** (Robin Collins) أن التجمع التراتبي سمح للفيزيائيين أيضاً بتمييز القوى الأساسية. وهو يجادل (في رد على الفيزيائي **زي** A. Zee) أنه فقط لأن هذه القوى الأربع - الجاذبية، والكهرومغناطيسية، والقوة النووية الضعيفة، والقوة النووية الشديدة - تتفاوت شداتها ونطاقات تأثيرها، يمكننا فصل تأثير كل منها، ومن ثم دراسة كل قوة على حدة. فمثلاً، في مجموعة المقاييس من كتل الكواكب إلى المجرات؛ فالقوة المعتبرة الوحيدة هي الجاذبية، أما على مستوى التركيب الذري؛ فإن القوة المعتبرة الوحيدة هي الكهرومغناطيسية. يقول **زي**، وهو يردد مقال **ديفيز**، بسبب هذا: «يمكننا التعرف على الطبيعة تزايديّاً. يمكننا فهم الذرة دون فهم النواة الذرية.. إذ ليس ضروريّاً أن نفهم الحقيقة الفيزيائية كلها مرة واحدة»(١)

التراتبية والبساطة:

يجمع هذا المثال الأخير بين قابلية الاكتشاف والتراتبية والبساطة. فقد ساعدت بساطة القوانين بشكل كبير في اكتشافها كما رأينا. ومع ذلك يجادل **روبن كولينز**، أن هذه البساطة تأتي ضمن أشكال متعددة، التي ثبتت أن كل واحدة منها لاكتشاف قوانين الطبيعة. وإلى جانب البساطة التي تم الحديث عنها؛ كالشكل البسيط الذي يتخذه قانون نيوتن للجاذبية، تبدي قوانين الطبيعة ما يدعوه **كولينز** بـ«البساطة التراتبية»، التي تنبثق فيها بساطة القوانين في كل مستوى مفاهيمي في تاريخ الفيزياء. فلننظر على سبيل المثال في الانتقال من نظرية الجاذبية النيوتونية إلى نظرية النسبية(٢) تسكن هذه القوانين مجالات

---

(١) A. Zee, "The Effectiveness of Mathematics in Fundamental Physics," in *Mathematics and Science*, Ronald E. Mickens, ed. (Singapore: World Scientific, 1990.), 20.

يجب أن نشكر روبن كولينز على هذا المرجع والأمثلة المتعددة في مراسلاته معنا بشأن هذه المسألة. يشير كولينز إلى ميزة الكون هذه بـ«الانفصالية»؛ أي: تلك الخاصية الكونية التي توفر لنا قِطعاً بحجم البتّ التي يمكن تحليلها في الغالب بدقة دون النظر في الكل.

(٢) يفسر كولينز (في مراسلة خاصة):

يمكن استخلاص قانون نيوتن للجاذبية، F = Gm1m2/r2، من معادلة آينشتاين، G = 8 T، باتخاذ ما =

مفاهيمية ورياضية مختلفة جذريّاً: يصف أحدها القوى بين الجسيمات. بينما يصف الآخر، الزمكان المنحني. ومع ذلك نستطيع ترجمة كل نظرية إلى الأخرى. إلا أن هذه الترجمة ستمحو بساطة النظريات. ورغم ذلك، فإن كلا قانوني الجاذبية هذين ـ قانون آينشتاين وقانون نيوتن ـ قوانين بسيطة بشكل مدهش داخل مجالاتها المفاهيمية المتعلقة بها.

إن ما يوحي إليه هذا أنه لسبب ما، تؤدي هذه القوانين النهائية للفيزياء إلى قوانين نظرية بسيطة رياضيّاً في كل مستوى مفاهيمي حتى بالنسبة لتلك التي تبين لاحقاً أنها غير مناسبة، مثل الزمكان النيوتني. تسمح هذه الحقيقة الغريبة لكل مستوى مفاهيمي بأن يعمل بمثابة سلم للمستوى التالي. لو كان من غير الممكن للقوانين النظرية أن تكون بسيطة ومع ذلك تكون دقيقة نسبيّاً في كل مستوى مفاهيمي، لما كان بإمكاننا اكتشافها في هذا المستوى، وبالتالي لا يمكن التقدم من مستوى إلى آخر باتجاه القوانين الأساسية للفيزياء.

ويرى **كولينز** أن النسبية العامة كانت لتكون غير متوقعة تقريباً لولا نظرية الجاذبية النيوتونية الموضوعة سابقاً؛ وحتى لو كانت كذلك، فإن صياغة النسبية العامة اتخذت من العبقرية فعلاً حقيقيّاً. تطلب قانون الجاذبية لـ**نيوتن** عملاً عبقريّاً كذلك ولم يقتضي فقط أن تكون قوانين الجاذبية بسيطة[١]؛ بل تم

= يسمى بالحد النيوتوني: بمعنى الحد الذي تكون فيه حقول الجاذبية ضعيفة نسبيّاً وسرعة الكتل المعتبرة صغيرة مقارنة بسرعة الضوء. الآن يخبرنا قانون نيوتن بالقوة F بين جسيمات من الكتلة m1 وm2 تفصل بينهما مسافة r، بينما تخبرنا معادلة آينشتاين بالمقدار الذي تحني به الطاقةُ ـ المادة الكلية (في شكل مُوَتِّر الطاقة ـ المادة T) الزمكان رباعي الأبعاد، كما يُحدّده مُوَتِّر الانحناء G. (لاحظ أن لثابت الجاذبية «G» الذي يقع في قانون نيوتن معنى مختلف تماماً عن «G» الذي يقع في معادلة آينشتاين).

ومجدداً، نتقدم بالشكر لروبن كولينز على هذا النظر، ونتطلع إلى سفره المقبل الذي يعالج فيه هذه القضايا.

(١) من المهم أن نميز بين قانون كوني بسيط وقانون يسهل اكتشافه. يمكن لأي امرئ حاول أن يتتبع حركات الكواكب في السماء أن يدرك أنها مملة جدّاً. لكن اكتشاف القوانين التي تصف انتظامها أمر صعب. لطالما اعتبر الفيزيائيون بساطة القانون المكتشف دليلاً على صحته. إن الاجتهاد الشاق =

اختزاله إلى قواعد بسيطة لحركة الكواكب: هي قوانين كبلر الثلاثة. وحتى مع قوانين بسيطة تصف حركة الكواكب، استغرق الأمر من **كبلر** خمسة عشر عاماً من التجارب الاختبارية لاكتشافها. فالكون لم يكن متطلباً جدّاً كأنه يضمن لنا الفشل؛ بل إنه يسمح لنا بالنجاح بينما لا يزال يحضرنا مع تحديات جديرة بالاهتمام، شأنه في ذلك شأن معلم ماهر.

مكاننا في الكون:

تسمح قوانين الفيزياء إذن بكون يتمتع بتراتبية المستويات وتنوع أحجام التكتلات بداخله. وبطبيعة الحال، فنحن تلك التكتلات الصغيرة التي ينصب معظم اهتمامنا نحوها. وليس هناك نقاش في أنّ الكون كاملٌ دون الدخول في الخطب التأنيبية عن حجمنا مقارنة بحجم الكون. توحي غالبية هذه المناقشات أن حجمنا علامة مذمومة بشكل ما. ولعل عالم الفلك **ستيوارت كلارك** (Stuart Clark) كان يتحدث نيابة عن الكثيرين لما قال: «يقودنا علم الفلك إلى الاعتقاد بأن الكون واسع جدّاً لدرجة أننا لسنا إلا هباء على كوكب الأرض»[1] فعلى النطاق المفرط من مقاييس الحجم؛ أي: من الكواركات إلى الكون المرصود، يوجد النطاق الممتد من البشر إلى كوكب الأرض في الوسط على المقياس اللوغاريتمي. والأهم من ذلك، أن حجمنا المتوسط يزيد إلى أقصى حد ممكن من مجموع نطاقات الهياكل التي نستطيع رصدها، الكبيرة والصغيرة منها على حد سواء. فنحن إذن نناسب الكون بشكل رائع.

ولو كنا على قيمة أصغر قليلاً فقط من مدرج القيم الأسية، فإن العالم

= المبذول في مراقبة الحركات المعقدة للأجرام السماوية على مدى سنوات عديدة، فقط لاكتشاف صياغة رياضية بسيطة تصفها، مُلْهِم إن لم يكن مريباً بشكل صريح. ويمنح للباحث فكرة أنه عثر على شيء أكبر من مجرد تعميم عادي أو بناء عقلي. وهذا هو معنى البساطة التي نتكلم عنها هنا. ولا يستلزم ذلك أن اكتشاف قانون التربيع العكسي ـ مثلاً ـ سهل جدّاً بحيث يستطيع طفل اكتشافه.

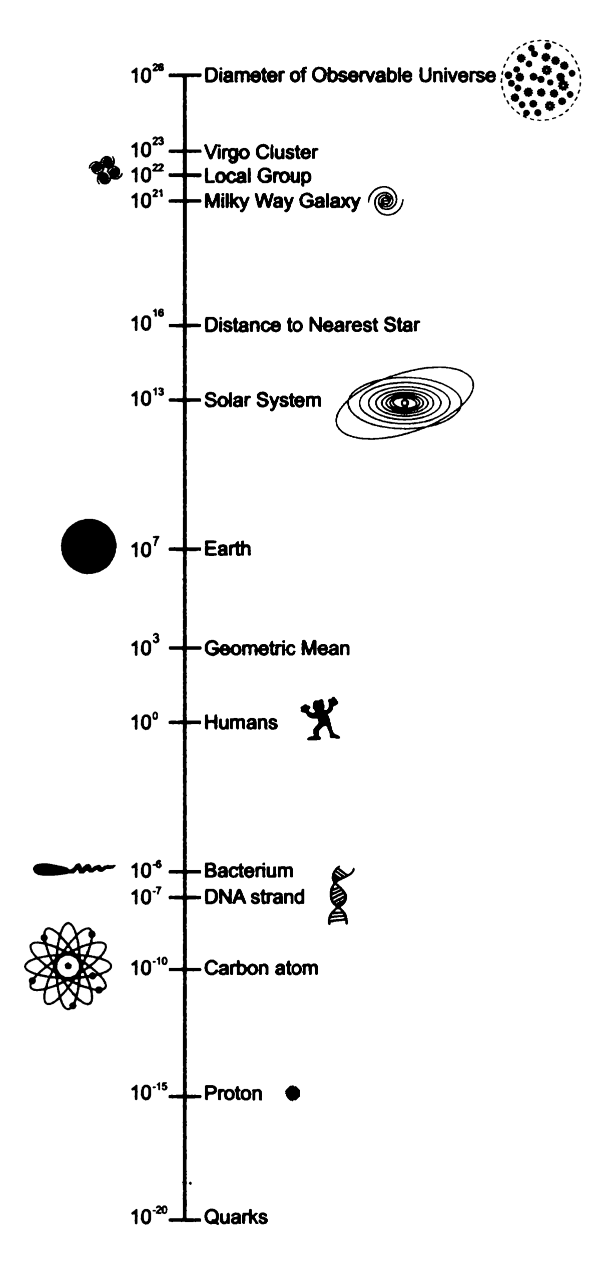
(١) Stuart Clark, *Life on Other Worlds and How to Find It* (Chichester, UK: Springer-Praxis, 2000), 1.

البعيد عن سطح الأرض سيكون غير متاح إلى حدٍّ كبير. تخيل نفسك بحجم نملة. فإن الحد الأقصى للدقة البصرية للعين يحدده حجم الحدقة؛ فإن كائناً بحجم نملة يقدر قطر عينه بـ ٠,١ ملم، يبلغ من الدقة واحداً في المئة كحد أقصى[1]، وهي غير كافية حتى لتحديد اكتمال القمر. يمكن للبشر تبين التفاصيل بتقدير دقيقة قوسية (one minute of arc) تقريباً في حجم الزاوي. يستطيع الفلكيون تحسين هذا الحد للغاية عن طريق إنشاء التلسكوبات. يحدد قطر التليسكوب (وهي في الأساس عدسة أو مرآة تجمع الضوء) مدى دقتها. يسمح حجمنا بإنشاء مرايا عدسة تلسكوب يصل قطرها إلى حوالي اثنتي عشرة بوصة ويمكن سحقها بسهولة إلى حدٍّ ما، عادة ما يضعها الفلكيون الهواة في مرائبهم. وتعتبر الدقة البصرية لعدسة الاثنتي عشرة بوصة أجود قليلاً من ثانية قوسية، مقارنة مع تأثير ضبابية الغلاف الجوي للأرض على المصادر السماوية البعيدة. إن كائناً بحجم نملة، ماهر من الناحية التكنولوجية يمكن أن يكون قادراً بسهولة على إنشاء عدسة تليسكوب يقدر قطرها بنصف ملليمتر، تصدر دقتها بحوالي ثماني دقائق قوسية، جيدة بما يكفي فقط لمراقبة القمر، والشمس، والنجوم الساطعة.

والمفارقة المثيرة هنا، أن كائناً صغيراً سيجد صعوبة في الكشف عن أصغر الوحدات البنائية؛ أي: الجسيمات الأساسية. إن مختبرات الفيزياء التي بنيت لقياس الجسيمات الأساسية هي عادة أكبر من البشر ببضع درجات على مدرج القيم الأسية. كلما صغر المكون المادي، كلما زادت الحاجة إلى المزيد من الطاقة للكشف عنه. لجمع الطاقة العالية، يجب على الفيزيائيين استخدام آلات كبيرة لتسريع الجسيمات إلى ما يقارب سرعة الضوء (وعادة ما يستخدمون الكهرومغناطيسات الكبيرة وفق تسلسل مرتب).

---

(١) كلما كانت الدقة أكبر، كان من الأسهل فصل مصدرين قريبين من الضوء. كلما كانت الزاوية أصغر، زادت الدقة المطلوبة لرؤيتهما كمصدرين اثنين.



● الشكل ١٠,٤: مقاييس الحجم في الكون. على الرغم من الاعتبارات التي غالباً ما ترى وجود الأرض والبشر «بلا قيمة» (**insignificant**) مقارنة مع انفساح الكون، فنطاق حجم الأرض ـ البشر يشمل في الحقيقة المتوسط الهندسي لمطاريف الأحجام في الكون. نقع بالقرب من منتصف مقياس الحجم الذي يتراوح من الكواركات إلى الكون المرصود، إذا تم تمثيله وفق مقياس لوغاريتمي (بدلالة قوى العدد عشرة). وبالنسبة للاكتشاف العلمي للبنيات ذات المقياس الكبير والصغير، يمثل توسط هذا الحجم الأمثل تقريباً. (الأحجام والمسافات التقريبية ممثلة بالأمتار).

نحن نوجد بالقرب من الطرف العلوي لمقياس حجم الحيوان. والحيوانات الكبيرة عموماً أقل مهارة مما نحن عليه، دون أن تكون لها رؤية أفضل. وليس من الغريب أنها تعيش في المحيطات، حيث توفر الطَّفْوِيَّة (buoyancy) دعماً إضافياً. ومع أن بعضها ربما يتمتع برؤية أكثر حساسية، فإن هذه الرؤية ليست هي الأمثل بالضرورة لمشاهدة السماوات، دون الحديث عن انعدام المهارة في الحياة البحرية الواسعة. وبالطبع، يمكننا دوماً أن نتصور شكلاً أثيريّاً أكبر للحياة، مثل الكائنات الكهرومغناطيسية الشبحية في «الغيمة السوداء» لفريد هويل أو في العوامات العملاقة في الغلاف الجوي للمشتري، كما تخيل كارل ساجان في كتابه «الكون». وحتى لو وجدت أمثال هذه المخلوقات، فمن الراجح أنها لن تستطيع تدبير بيئتها كما نفعل.

وقد أكد عالم الأحياء **مايكل دينتون** في كتابه «مصير الطبيعة» الطرق التي يبدو أن حجمنا يتكيف بها بشكل جيد لأجل التكنولوجيا. وتحدث خاصة عن كيف يسمح لنا حجمنا بالسيطرة على النار، بوصفها خطوة ضرورية نحو التكنولوجيا العالية. كما يُحاجّ أن الحرائق المستدامة غير عملية بالنسبة للكائنات الحية التي تصغرنا حجماً للغاية[١] قد تكون هذه النقطة قابلة للنقاش، مع أنه لا يبدو أبداً على الحرائق الاصطناعية والطبيعية أنها أصغر من بضعة سنتيمترات. النار غير اعتيادية من حيث إنها ساخنة جدّاً دون أن تكون انفجارية، بسبب الخمول النسبي (relative inertness) للكربون والأوكسجين. وهذا يجعلها مفيدة كمصدر بسيط للطاقة. يحتاج علم الأحياء والنار التي يمكن السيطرة عليها إلى بيئة ذات نسبة وافرة من الكربون والأوكسجين. ومجدداً، نجد أن الصفات اللازمة للحياة تفيد أيضاً الاكتشاف والتقدم التكنولوجي.

ويستنتج **دينتون** بعد مناقشة طويلة تربط الأبعاد البشرية بالبيئة، قائلاً:

يبدو أنّه في وسع الإنسان، كما عَرّفه أرسطو في السّطر الأول من سِفره

(١) Michael Denton, *Nature's Destiny* 243.

«الميتافيزيقا» بوصفه مخلوقاً «يتشوّق إلى الفهم»، أن يحقّق فهماً واستكشافاً للعالم فقط؛ كمصير حتمي له كما رأى أرسطو، في جسد بأبعاد مقاربة لأبعاد الإنسان الحديث[1]

لم تكن هناك أية علاقة تربط الفيزياء النظرية وعلم الكونيات باحتياجات الإنسانية من أجل البقاء على قيد الحياة لمعظم تاريخنا. وقد استطاع أجدادنا العيش والتكيف حتى مع جهلهم بنظرية بيل في ميكانيكا الكم، وبعلم الكونيات الخاص بالانفجار العظيم، وبنظرية التخليق النووي النجمي. ومع ذلك، فإننا نبدو من نواح كثيرة أننا نبالغ في استعدادنا بدافع الفضول، بما يكفي بحيث إذا أتيحت الفرص، نستطيع اكتشاف قوانين الكون، حتى في تمثلاتها الأكثر بُعداً وغموضاً. إن هذا الفضول يتوافق بشكل تام مع الحقيقة المدهشة الأخرى إن قضينا وقتاً لا بأس به لكي نحلل. لقد انتقلنا من تفاصيل الجيوفيزياء والغلاف الجوي للأرض، إلى بداية الزمن الكوني والقوى والثوابت التي تتطبق في جميع أنحاء الكون. وعند تقليب النظر مرة بعد الأخرى فسنلحظ نمطاً وهو: تُوفِّرُ الظروف التي تتطلبها صلاحية الحياة، ظروفاً ممتازة بشكل عام لاكتشاف الكون المحيط بنا أيضاً. وينبغي أن يقودنا هذا النمط في مرحلة ما، ليس فقط لإعادة تقييم بعض الافتراضات الراسخة حول الكون؛ بل لإعادة النظر في هدفنا على هذه البقعة التي تدور حول نجم يبدو أنه غير ذي أهمية بين الأذرع الحلزونية في مجرة عادية وسط المليارات من المجرات.

(١) المرجع نفسه.

الباب الثالث

النتائج والآثار

الفصل الحادي عشر

التّاريخ المحقّق للثّورة الكوبرنيكية

إن كان كوبرنيكس قد بقننا درساً بعدم مركزيتنا للكون، فإن تصورنا الحالي للكون يرغم أنوفنا بهذه الحقيقة.

ـ روبرت كيرشنر[(١)]

التّاريخ المحرَّف:

ينبغي أن تكون نتيجة الفصول السّابقة واضحة حتّى الآن: إنّ بيئتنا المحلّية، والتي تتوسّط الزّمن القريب، وسطح الأرض، يعد أمراً استثنائياً وربّما نادراً للغاية، سواء تعلق بصلاحية الحياة أو قابلية القياس. والأبعد من ذلك أنّ الأدلة تشير أنّ هاتين الخاصيتين في كوننا مقترنتان، وأن تلك الأماكن الأقل احتمالاً لملاءمة حياة معقدة لمراقبين أذكياء توفر أيضاً أفضل الظروف لتحقيق اكتشافات علمية متنوّعة واسعة النّطاق. ونحن نعتقد أن لهذا الدّليل تبِعات هامّة سنقوم بتفصيلها لاحقاً.

---

(١) مقتبسة من جون نوبل ويلفورد،

John Noble Wilford, "From Distant Galaxies, News of a 'Stop-and-Go Universe,'" *New York Times* (June 3, 2003).

تتمحور هذه القصة حول دور الطاقة المظلمة الغامضة في تسريع التوسع الكوني. والعجيب أنه في الجملة المنقولة عن كيرشنر، قبيل استدعائه لكوبرنيك، والتي يقول فيها: «لسنا مصنوعين من نوع الجسيمات الذي يشكل معظم هذه المادة في الكون، وليس لدينا أي فكرة بعد عن كيف نتحسس مباشرة الطاقة المظلمة التي تحدد مصير الكون». يبدو هذا وكأنه يناقض المبدأ الكوبرنيكي؛ لأنه عادة ما يُنظر إلى عموميتنا الكونية (cosmic ordinariness) كدليل على المبدأ. ولكن كما سنرى، كل شيء تقريباً، وعكسه هو اتخاذها من قبل شخص كدليل على المبدأ.

ومع ذلك فإن الدعوى المعتادة والتي تقف بجرأة في وجه ما قررناه، هو التقليد المشهور خصوصاً في علم الفلك وعلم الكونيات بأننا لا نشغل مكاناً مميز من الكون. أنشأ دعاة هذا التقليد تراثهم في ضوء تأسيس العلم الحديث، مع **غاليليو وكبلر**، وخاصّة **كوبرنيكس**. وهم يحتجّون أيضاً بالأربعمائة سنة من الاكتشاف العلمي الذي تلا ذلك التأسيس. وإذا تركنا ـ بالنظر إلى هذا التسلسل ـ هذا الادعاء يمر دون اعتراض، فإن حجتنا ستبدو غير متماسكة. ولحسن الحظ، فإن النَّسَب التاريخي لما يسمى بالمبدأ الكوبرنيكي مشكوك فيه للغاية. وبالطبع، فسيجد هذا المبدأ في صورته التي اكتسبها مؤخراً بعض المنتقدين الأكثر صرامة من **كوبرنيكس** نفسه.

القصة الرسمية:

كان بطليموس (القرن الثاني) أول وأكثر الداعين لصدارة النوع البشري من سلسلة طويلة من العلماء. افترض أن الكون كله يدور من حولنا، وأن الأرض تقع في قلب السماء. سيخبرنا أي مستشار تسويق أن اختيار موقعك هو ما يهم، وأنه من الصعب أن تجد موقعاً من الكون أفضل من المركز. أشار عالم فلك بولندي يدعى **كوبرنيكس** (١٤٧٣ ـ ١٥٤٣م) بجلافة قائلاً: معذرة يا أبناء الأرض، فنحن ندور حول الشمس، لا العكس... إن **جيوردانو برونو** (Giordano Bruno)، الذي كان بمثابة ساجان القرن السادس عشر، هو من أذاع هذه المفاهيم... قائلاً، من بين أمور أخرى: إنه يوجد عدد لا حصر له من الشموس. وعدد لا حصر له من الأراضين تدور حول تلك الشموس. وأن هناك كائنات حية تعيش في هذه العوالم... «كانت جريمة **برونو**، مثل **غاليليو**، تهدم تفرد كوكبنا، وبالتالي، تهدد الأمن الفكري للديكتاتورية الدينية آنذاك... ومع مرور الوقت، عضد تقدم علم الفلك باستمرار التفاهة التامة للأرض على المقياس السماوي.

وهكذا كتب **ناثان ميرفولد** (Nathan Myrhvold) في مقال له مجلة سليت (Slate) الأمريكية، تحت عنوان: «من المريخ للبشرية: تجاوزوا غطرستكم» "Mars to Humanity: Get Over Yourself"[1] ابتلع ميرفولد هذه الصورة النمطية برمتها.

(١) تم اقتطافها أيضاً في مجلة تايمز. وقد نشرت المقالة بعد أسبوع من إعلان ناسا عن دليل ممكن على الحياة في نيزك مريخي يوم ٧ أغسطس/ غشت عام ١٩٩٦م.

والقصة شائعة جدّاً لدرجة أنه من الممل تكرارها بتفصيل كبير. وكما نظن جميعاً متوهمين أننا نعلم، بأن الخرافات القديمة تضع الأرض وسكانها في المركز الفيزيائي والميتافيزيقي في كون صغير إنساني التمركز (anthropocentric) ـ أي: «متمحور حول الإنسان» ـ. واعتقدت الجماهير التي أدركها ظلام الجهل أن الأرض كانت مسطحة[1]، بينما كانت تتصورها النخب المتعلمة، تبعاً لبطليموس وأرسطو جسماً كرويّاً، إلى جانب القمر والكواكب والشمس والنجوم التي تدور حوله.

وفقاً للقصة الشعبية، حط **كوبرنيكس** من رتبتنا حين قال بأن الشمس تقع في مركز كوننا، مع دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس في نفس الوقت مثل الكواكب الأخرى. يُصحب هذا الادعاء في بعض الأحيان بأخطاء حقيقية جد فادحة.

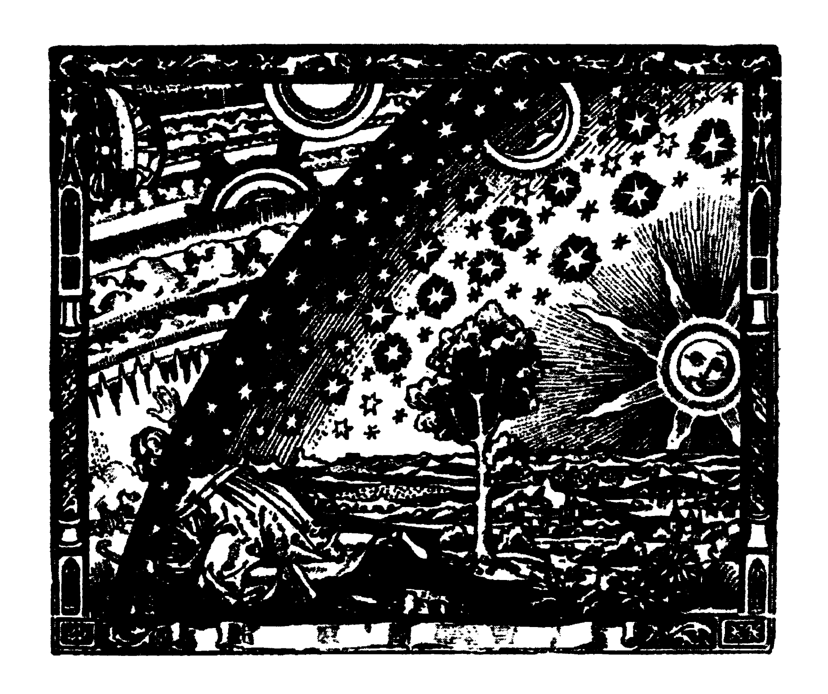
يفسر **بروس جاكوسكي** (Bruce Jakosky) على سبيل المثال في كتابه: البحث عن الحياة على الكواكب الأخرى، «لم تتبنَ الكنيسة وجهات نظر **كوبرنيكس** بسبب هذا التغيير الهائل في النظرة الكونية: وتاريخ اضطهاده معروف جيداً»[2] ناهيك عن أن **كوبرنيكس** لم يتعرض للاضطهاد ومات في نفس السنة (١٥٤٣م) التي نشرت فيها أفكاره، لا على عمود مغرق بالزيت؛ بل في سلام، بأسباب طبيعية. وبما أن هذه الحقائق التاريخية تشوه الفيلم المشهور للقصة الشائعة التي تلقي ضوءها على أبطالها الشداد الفولاذيين من جهة، وعلى الكهنة المتعصبين الأشرار من جهة أخرى، ظلت الحقائق التاريخية محرفة. (وينبغي أن يفهم بأننا لا نعتقد أن هذا جزء من مؤامرة متعمدة. **جاكوسكي** عالم معروف ومحترم، والناشر، (مطبعة جامعة كامبريدج)، ناشر محترم لكتب علم الفلك. ولكن مثل هذا الخطأ إنما أفلت من عملية التحرير فقط لأن كثيراً من الناس الأذكياء اتخذوا ببساطة الصورة النمطية).

---

(١) يبدو أن أسطورة أن معظم القدماء يعتقدون أن الأرض مسطحة قد بدأت مع واشنطن ايرفينغ (Washington Irvinġ Ãṍ English-speaking world). للاطلاع على التحليل والنقد، انظر:

Jeffrey Burton Russell, *Inventing the Flat Earth: Columbus and Modern Historians* (New York: Praeger), 1991.

(٢) Bruce Jakosky, The Search for Life on Other Planets (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 299.



● **الشكل ١١,١**: غالباً ما يخطئ المرء أن هذه الصورة الشهيرة قطعة منحوتة من الخشب تعود للقرن السابع عشر. في حقيقة الأمر. كان أول ظهور معروف لها في كتاب كميل فلاماريون (**Camille Flammarion**) «الميسَّر في علم الأرصاد الجوية» (*L'Atmosphère*: Météorologie Populaire) (باريس، ١٨٨٨)، ١٦٣. استخدمها فلاماريون وغيره كدليل على الادعاء الخاطئ أن مجتمعات القرون الوسطى صدقت أن الأرض كانت مسطحة.

واستمر هذا الفيلم منذ اضطهاد **كوبرنيكس** بمزيج بارع من الواقع والخيال: ثم يترك المسيح **كوبرنيكس** حتى أتباعه الأقل حظّاً، كـ**برونو**، الشهيد الأول، و**غاليليو**، القديس الأول، الذي سيعاني عواقب أكثر بشاعة. ومع ذلك، فإن المسيرة الشجاعة للأدلة العلمية التي لا تني، تدفع ظلامية وغموض الخرافات الدينية - كموسيقى النصر المسجورة فتليها هتافات الشكر وشارة نهاية الفيلم. ويبدو أن الجماهير التي يسري عليها الاختبار معجبون به. فيذهب الجميع إلى منازلهم ممتلئين ووقحين بمعرفة التفوق الفائق للإنسان الحديث على المخادعين المؤمنين بالخرافات المنحدرين من ماضٍ سحيق ومهزوم.

هذه هي القصة مُنقّحةً من التفاصيل المشكلة. كانت الثورة الكوبرنيكية، كما يراد لنا أن نعتقد، المعركة الافتتاحية في الحرب الجارية بين العلم والدين. يعرض مؤلفو الكتب المدرسية والعلمية هذا الموضوع بدرجات

متفاوتة من الاختزال والنفور من التفاصيل، مع بعض الاستثناءات، لكن الرسالة المركزية هي نفسها: حافظت الخرافات الدينية على أسطورة أن الأرض والبشر هما مركز الكون، فيزيائيّاً وميتافيزيقيّا، لكن العلم الحديث يعلّمنا خلاف ذلك. إن **كوبرنيكس** هو الرمز الصامد للالتزام الحازم للعلم بالوقائع، حتى إن كلَّف ذلك عزل الإنسانية عن تصورها الزائف بتميزها وأهميتها. كما عبر الفلكي **ستيوارت كلارك عن هذا بقوله:** «يقودنا علم الفلك إلى الاعتقاد بأن الكون واسع جدّاً لدرجة أننا ـ على هذا الكوكب ـ لنا أكثر من هباءة تافهة»[(١)] والغريب أن البعض يرى أن عمل **كوبرنيكس** يلعب دور المعلم الأخلاقي؛ حيث قال الفيلسوف برتراند راسل مرة: «إن الثورة الكوبرنيكية لن تتم عملها حتى تعلم الرجال مزيداً من التواضع بدلاً من أولئك الذين يعتقدون أن الإنسان كاف كدليل على غاية كونية»[(٢)]

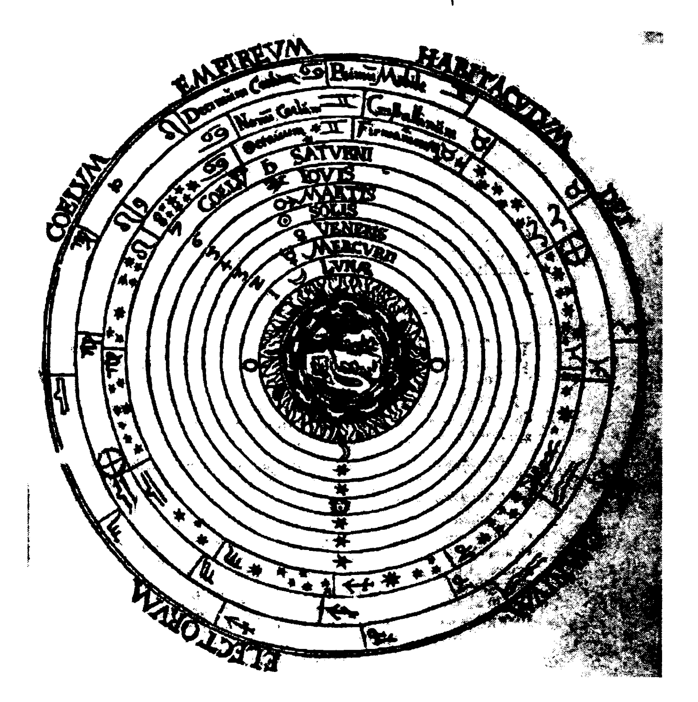
وما يستنبطه النص مفقود، طبعاً، هو أن المرء لن يكون علميّاً إلا بقدر ما يكون غير متدين. وأن يكون «متديناً» بالمعنى الضيق المقصود هنا، هو الاعتقاد بأن هناك شيئاً استثنائيّاً، خاصّاً، أو مقصوداً (intentional) بشأن وجودنا ووجود الكون. و«للعلم» هنا تعريف خاص أيضاً. أكثر من مجرد البحث عن الحقيقة (فكلمة *scientia* تعني: المعرفة) حول الطبيعة ـ قائماً على الأدلة والدراسة المنهجية، ونحوهما ـ أصبح العلم تطبيقاً للمادية: الإيمان الراسخ بأن العالم المادي هو كل ما هنالك، وأن الصدفة والقانون الموضوعي الطبيعي وحدهما، يفسران ـ بل يجب أن يفسرا في الواقع ـ وجودها.

---

(١) Stuart Clark, *Life on Other Worlds and How to Find It* (Chichester, UK: Springer-Praxis, 2000), 1.
بشكل عام، قال الفيزيائي ستيفن وينبرغ: «كلما بدا الكون أكثر قابلية للفهم، بدا كذلك أنه عبثي». ويقول قبل خاتمة الكتاب: «لا يمكن للإنسان أن يقاوم الاعتقاد بأن لنا علاقة خاصة بالكون، وأن الحياة البشرية ليست أكثر أو أقل من مجرد نتيجة بدائية لسلسلة من الحوادث بالعودة إلى الدقائق الثلاث الأولى؛ بل تم إنشاؤها بطريقة ما منذ البداية».
Steven Weinberg, *The First Three Minutes* (New York: Basic Books, 1977), 150-155.

(٢) Bertrand Russell, *Religion and Science* (New York: Oxford University Press, 1961), 222. Quoted in Neil Manson, "Why Cosmic Fine-Tuning Needs to Be Explained, Dissertation at Syracuse University (December 1998), 146.

وتحقيقاً لهذه الغاية، فإن مدار القصة الشائعة يكاد يقلب النقاط التاريخية الأكثر أهمية. والغالب على هذا النسج القصصي هو الرابط بين موقعنا «المركزي» وأهميتنا في المخطط العام للكون؛ إذ يقول عالم الكواكب **ستيوارت روس تايلور**: إن **كوبرنيكس** كان محقّاً بعد كل شيء. ففكرة أن الشمس كانت هي مركز الكون بدلاً من الأرض، سببت تغيراً عميقاً في تصورنا لمكاننا في العالم. وخلقت المناخ الفلسفي الذي نعيش فيه. ليس من الواضح أن الجميع بات متقبلاً لهذه الفكرة؛ لأننا ما زلنا نتعلّق بفكرة أننا مميزون وأن الكون كله مصمم لنا[1]



● **الشكل ١١,٢: يظهر هذا القسم الكوني من كتاب الفلك الشهير (١٥٤٠) لبيتر أبيان (Peter Apian)، الصورة الأرسطية/البطليمية للعالم التي تسلم بها معظم مجتمعات القرون الوسطى: الأرض الكروية في الوسط غير المشرَّف، تحيط بها الأجسام الكروية الأولية لكل من الكواكب والشمس والقمر والنجوم الثابتة، والفترات الفلكية الإضافية وأخيراً، كما يقول أبيان: «السماء العليا أو مملكة الإله والمختارون».**

---

(١) Stuart Ross Taylor, *Destiny or Chance: Our Solar System and Its Place in the Cosmos* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 11.

وقد احتج مؤرخو العلوم على هذا الوصف الخاص بتطور العلم على مدى عقود، لكن احتجاجاتهم لم تصل بعد إلى الجماهير أو مؤلفي الكتب المدرسية.

باختصار، إن ما يفهمه هؤلاء المؤرخون المحتجون هو أن علم الكونيات القديم كان مركباً من الرؤية الفيزيائية والميتافيزيقية للفيلسوف اليوناني **أرسطو** (٣٨٤ ـ ٣٢٢ قبل الميلاد)، والملاحظات الدقيقة والنماذج الرياضية لـ**بطليموس** (حوالي ١٠٠م ـ حوالي ١٧٥م) وغيرهم من علماء الفلك؛ فالكون الذي تصوروه كان عبارة عن كرات متحدة المراكز متداخلة تطوق كرتنا الأرضية، وهو نموذج فسّر بشكل جيد مجموعة كاملة من الظواهر الفلكية خلال عصر ما قبل التلسكوب. كان يعتقد أن الكرات البلّورية مترابطة بحيث تُحَرِّك حركةُ الكرة النّجمية الخارجية للنّجوم الكراتِ الدّاخلية التي تضمّ الكواكب والشّمس والقمر. مثل هذا النّموذج أعطى النظام لحركة الشمس من الشرق إلى الغرب عبر مسارها اليومي والقمر في الليل، والكرة السماوية التي تطوق القطبين، والمسارات المعقدة غير المنتظمة إلى حد ما للكواكب المعروفة.

كان في صالح هذه الرّؤية التعاضد الذي قدّمته البداهة الحسية (commonsense observation) للحركة الظّاهرة في السّماء، والاستقرار الظّاهري للأرض نفسها، بالإضافة إلى عدد من الحجج المعقولة. فعلى سبيل المثال، لو كانت الأرض في حركة، فإنّ المرء سيترقّب ريحاً شرقية شديدة، وأن السّهم المنطلق باستقامة في السماء سيسقط في الجهة الغربية للرامي. ومع أن الأمر يبدو ساذجاً بالنّسبة للعقول الحديثة، فإنّ علم الكونيات هذا يختلف عن العديد من علوم الكونيات الأخرى؛ لأنه يأخذ بعين الاعتبار ملاحظة السّماء في محاولة للكشف عن بنية الكون[1] وبهذا الاعتبار فإنه يعد انعكاساً لما نراه الآن كفضيلة للعلم ـ أي: الانفتاح على مراقبة العالم الطبيعي.

بخلاف الانطباع الشائع، لم يفكر أرسطو ولا بطليموس أن الأرض جزء

---

(١) Thomas Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge: Harvard University Press, 1957, renewed 1985), 5.

كبير من الكون. فقد اعتبر أرسطو أن «حجمها ليس كبيراً» مقارنة مع الأجسام الكروية السماوية[١]، وفي عمله النفيس يقول بطليموس في كتابه **المجسطي** (the *Almagest*): «الأرض تعد نقطة بالنّسبة للسّماوات»[٢] وتوصل كل منهما إلى هذا الاستنتاج بسبب ملاحظات علاقة الأرض بالنجوم، التي على أساسها حدسوا أن الكرة النجمية تبعد بمسافة هائلة عن الأرض. أسس **كوبرنيكس** إحدى حججه على دوران الأرض على هذا الافتراض المشترك، ملاحظاً «كم هو مثير للدهشة، إذا كان من المفترض أن يدور الكون الشاسع في فضاء الأربع والعشرين ساعة عوضاً عن أصغر نقطة منه!»[٣]

والأهم من ذلك فلم يكن الاعتقاد أن «مركز» الكون يحتل مكانة شريفة، بأكثر من اعتقاد أن مركز الأرض تحيل مثل هذه المكانة. ومن المؤكد أنه **لم يكن** يُعتقد بأن الأرض «تقع في كبد السماء نفسها»، كما يقول **ميرهفولد**؛ بل على العكس تماماً. كان النّطاق التّحتقمري (sublunar domain) قاعدة قابلة للتغير والتلف ويشكل الجزء الثقيل من الكون. وكان يعتقد أن الأشياء تسقط نحو الأرض بسبب ثقلها، وكان يعتبر أن الأرض نفسها «مركز» الكون بسبب ثقلها. فأعاد التفسير المحدث لمركزية الأرض هذا التصور أساساً إلى الوراء. بالمعنى المعاصر للكلمة، كانت الأرض في علم الكونيات قبل الكوبرنيكي في «أسفل» الكون بدلاً من «مركزه».

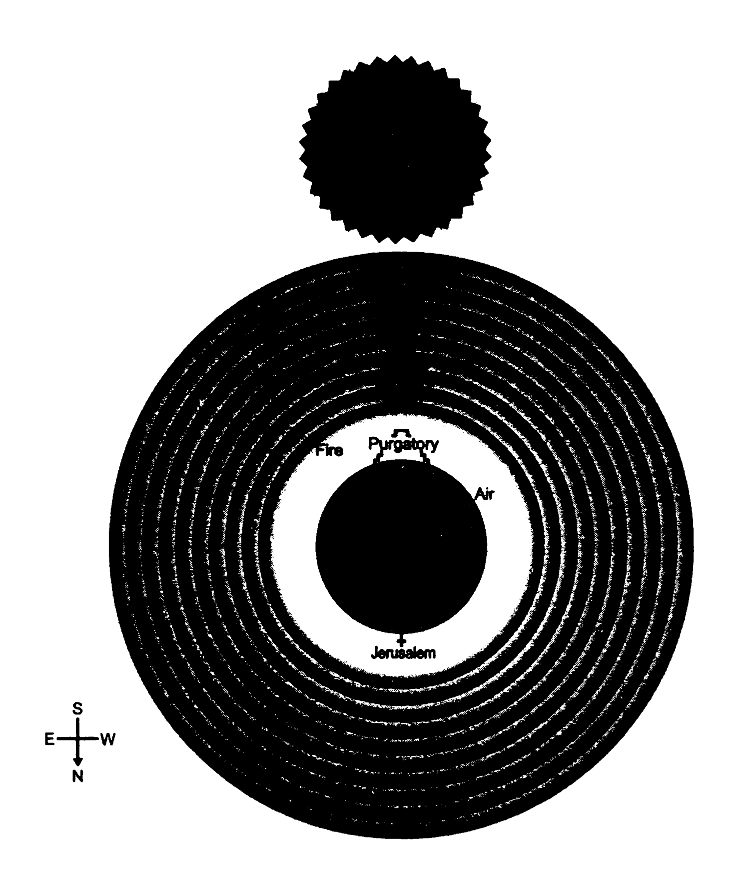
---

(١) في كتابه Physics and On the Heavens، المقتبس في Dennis Danielson, The Book of the Cosmos (Cambridge: Perseus, Helix Books, 2000), 42. تجمع مختارات دانييلسون العديد من النصوص الغربية المركزية في علم الكونيات. إننا نقوم نستخدم بشكل سخي النصوص الأساسية المدرجة في هذا المجلد.

(٢) مقتبس في، Danielson, *The Book of the Cosmos*, 72. طرح الفيلسوف المسيحي بوثيوس (٤٧٠ ـ ٥٢٥)، الذي «وسّط» الانتقال من التفكير الروماني إلى التفكير السكولائي، نفس الفكرة. انظر: الاقتباس والمناقشة في:
John Barrow and Frank Tipler, The *Anthropic* Cosmological Principle (Oxford: Oxford University Press, 1986), 45.

(٣) من الفصل السادس من كتاب De Revolutionibus، المقتبس في Danielson, The Book of the Cosmos, 112. يقول كوبرنيك سابقاً في هذا النص: «بقدر ما يمكن لحواسنا أن تخبرنا، الأرض للسماوات كنقطة إلى جسم، وكشيء نهائي إلى شيء لانهائي».

وفي المقابل، اعتبر الأرسطيون أن السماوات ثابتة من حيث انتظامها وتكوينها. في حين تتشكل المناطق التحتقمرية من العناصر الأربعة المتغيرة: التراب والماء والهواء والنار، وتألفت السماوات من «عنصر خامس» يدعى «الجوهر»، أو الأثير.



● **الشكل ١١,٣:** الكون الأرسطي/البطليمي حسب دانتي. بخلاف الصورة النمطية المشتركة، فعلم الكونيات قبل الكوبرنيكي لم ينظر إلى «مركز» الكون كأكثر الأماكن أهمية. وبالنسبة لأرسطو، كانت الأرض كحوض كوني، حيث يمتزج التراب، والهواء، والنار والماء ليسبب التلاشي والموت. كانت الأجرام الكروية: القمر، والكواكب، والنجوم؛ المملكة الأبدية الثابتة. يصف دانتي في «الكوميديا الإلهية»، مستويات الجحيم مصوراً الأجرام الكروية السماوية، مع تموقع عرش الشيطان في مركز الأرض تماماً. وليس من المستغرب، بعكس هذه الصورة، أن كان بإمكان كوبرنيك، وغاليليو، وغيرهما أن يجادلوا بأن القول بمركزية الشمس قد رفع منزلة الأرض، مع إعادة تفسير معنى المركز.

كانت الأجرام السماوية كروية تماماً، وكانت تتحرك بطريقة دائرية تليق بكمالها. وتلا هذا أن كانت القوانين التي تحكم العوالم السماوية متفوقة ومختلفة تماماً عن القوانين التي تحكم المناطق التحتقمرية.

عندما أضيف اللاهوت المسيحي إلى المزيج في العصور الوسطى، أصبح مركز الكون أو حضيضه جحيماً بشكل حرفي. فخلدت الكوميديا الإلٰهية لدانتي هذه الرؤية، آخذة القارئ من على سطح الأرض إلى الحلقات التسع للجحيم، التي تعكس الأجرام السماوية في الأعلى. واحتل الإنسان المتألف من الروح والتراب مرتبة وسيطة على نحو يكون فيه بمثابة كون مصغر[1] فإما أن يصعد إلى العالم السماوي، أو يهبط إلى عالم الشر، نحو الموت والتلاشي. بينما تسكن الكائنات الروحية الأخرى الواقع المخلوق الواسع، والإلٰه يقيم «فوق» الكرة «السماوية» كمحرك الأشياء الذي لا يتحرك. بالمعنى الميتافيزيقي، كان يتمحور الواقع في منهج القرون الوسطى حول الإلٰه لا حول الإنسان. وفي هذا، جادل أوغسطين أن الإلٰه لم يخلق العالم «للإنسان» أو لضرورة لازمة؛ بل ببساطة «لأنه أراد» ذلك[2] فمن الخطأ إذن أن نقول إن ما قبل الكوبرنيكيين قد أعطوا الأرض والبشر مكانة تقدير عليا بينما أنزلنا **كوبرنيكس** موضعاً خلفياً منعزلاً بلا أهمية[3]

الحرب وشائعات الحرب:

إضافة إلى هذا التفسير الخاطئ عادة ما نجد الصورة المجازية المبسطة للصراع بين العلم والدين، التي تشوه صلة معقدة ومثيرة للاهتمام[4] فبينما

---

(١) Kuhn, *The Copernican Revolution*, 112-113.

(٢) مقتبس في:

Hans Blumenberg, The Genesis of the Copernican Revolution, Robert M. Wallace, trans. (Cambridge: MIT Press, 1987), xv.

(٣) مع كل الحديث عن إزالة الأرض عن مركز الكون، فإنه يبدو من المثير للسخرية أن ادعاء كل من الكون النيوتوني اللامتناهي، والكون المتناهي في كزمولوجيا الانفجار العظيم (وإن كان بلا حدود) تبدو مختلفة تماماً. فإن الأمر لا يتعلق بإزاحتنا من مركز الكون بل ليس ثمة مركز للكون أصلاً.

(٤) خلد كتابان من القرن التاسع عشر استعارة الصراع:

يقال لنا: إن المعتقدات الدينية تميل إلى إعاقة التحقيق العلمي، يجادل العديد من المؤرخين مؤخراً أن العلم قد نشأ في وسط إيماني وأن عدداً من المعتقدات اللاهوتية كانت أساسية لشروق شمس العلم في أوروبا الغربية خلال القرن السادس عشر والقرن السابع عشر. يمكن للبشر في كل ثقافة أن يراقبوا العالم الطبيعي من حولهم. وكانت هناك ثقافة واحدة فقط تتمتع بالظروف اللاهوتية الفلسفية السابقة التي ولد في كنفها العلم الحديث. وقد ساعدت التقاليد اليهودية المسيحية، بخلاف الصورة النمطية الحديثة في تصحيح وتحويل التراث اليوناني عندما بدأت تتفاعل وجهات النظر خلال العصور الوسطى. كما يشير مؤرخ العلوم **ريجر هيكاس** (Reijer Hooykaas) قائلاً: «بعبارة مجازية، إذا كانت المكونات المادية للعلوم يونانية، فإن الفيتامينات والهرمونات مستمدة من الكتاب المقدس»[١]

من أهم ما قدمه ميراث الكتاب المقدس للعلم الحديث هو الفكرة القائلة بأن الزمن الخطي أساسي للكون المادي وليس وهماً. وبعبارة أخرى، ففي الواقع، يذهب هذا التاريخ الكوني إلى مكان ما بدلاً من أن يتخذ مسلكاً دائرياً[٢] وبهذه الطريقة تميزت عن الرؤية الدورية للزمن التي تبناها اليونانيون.

= Andrew Dickson White, A History of the Warfare of Science with Theology in Christendom (1895; reprint New York: George Braziller, 1955), & John W. Draper, History of the Conflict Between Religion and Science (1875; reprint New York: Appleton, 1928).

لنظرة تمهيدية عامة ممتازة عن العلاقة المعقدة بين المسيحية والعلم الحديث:

John Hedley Brooke, Science and Religion: Some Historical Perspectives (Cambridge: Cambridge University Press, 1991).

أطلّت استعارة الصراع مؤخراً في نقاش حول انتشار الحياة في الكون. في:

Life Everywhere: The Maverick Science of Astrobiology (New York: Basic Books, 2001).

يتوجه الكاتب العلمي ديفيد دارلين (David Darling) إلى أحدنا (غ. غ.) في محاولة لرفض حجج غ. غ. فيما يخص ندرة الحياة القائمة على أساس آراء غ. غ. الدينية. يعطي الكتاب انطباعاً بأنه يجب إقصاء أي عالم يتبنى آراء دينية تتنافى مع آراء دارلين الخاصة، من ممارسة العلم. كما يحصل للمرء انطباع بأن دارلين لا يعرف الفرق بين الحجة التجريبية والحجة الشخصية (ad hominem argument).

(١) R. Hooykaas, *Religion and the Rise of Modern Science* (Vancouver: Regent College Publishing, 2000; originally published, Edinburgh: Scottish Academic Press, 1972), 162.

(٢) Blumenberg, *The Genesis of the Copernican Revolution*, 453-487. =

وكان تمييز الكتاب بين الخالق والخلق أمراً مهمّاً أيضاً، الذي أسفر عن نتيجتين بالغتين على الأقل.

أولاً: فبخلاف التقليد الفلسفي اليوناني، اعتبر مؤلفو الكتاب المقدس أن المادة جيدة وأن العمل اليدوي يمنح الشرف(١) **ثانياً**: على البشر أن يحترموا الطبيعة كخلق الله الحسن، وألا يبجلوها كأنها إلٰه أو ذرية إلٰهية/ مقدسة(٢) فساعدت هذه القطيعة مع التقليد اليوناني على تعبيد الطريق أمام العلماء لإخضاع الطبيعة إلى التجربة والتحقيق، ولتطوير التكنولوجيا(٣)

وهناك مساهمة هامة أخرى في الكتاب المقدس هي أنه لما كان الإلٰه حرّاً في خلق العالم(٤)، فالطبيعة ممكنة. وكان من الممكن ألا توجد، أو أن توجد وتتميز بخصائص مختلفة عن التي هي عليه. وكنتيجة؛ فخصائص الطبيعة يجب اكتشافها بدلاً من مجرد استنتاجها من مبادئ المنطق أو الرياضيات(٥)

= للاطلاع على مناقشة مفصلة، انظر أيضاً:

Stanley L. Jaki, *The Road of Science and the Ways to God*, The Gifford Lectures, 1974-75 and 1975-76 (Chicago: University of Chicago Press, 1978).

(١) Hooykaas, *Religion and the Rise of Modern Science*, 75 -96.

(٢) انظر: Christopher Kaiser, *Creation and the History of Science* (Grand Rapids: Eerdmans, 1991).

(٣) المرجع نفسه، ٧ ـ ٩، ٦٧ ـ ٦٩. «وهكذا، في تناقض كلي مع الدين الوثني، الطبيعة ليست إلٰه يُخشى ويُعبد، ولكنه عمل إلٰهي يثير الإعجاب ويبعث على الدراسة»، ٩. للاطلاع على مناقشة مفيدة حول الإنجازات التكنولوجية في القرون الوسطى انظر:

J. Gimpel, *The Medieval Machine: The Industrial Revolution of the Middle Ages* (New York: Holt, Rinehart & Winston, 1976).

المصدر الكلاسيكي عن الإيمان المسيحي والتكنولوجيا في القرون الوسطى هو:

Lynn White, Jr., *Medieval Technology and Social Change* (Oxford: Oxford University Press, 1962).

ولعله تجدر الإشارة إلى أنه، خلافاً للادعاء الشائع، لا شيء في التقاليد التوراتية يُسوّغ معاملة الطبيعة باعتبارها مجرد وسيلة لنهاية لا قيمة جوهرية لها، أو كخلفية منفعلة (passive backdrop)، يمكن للبشر أن يفعلوا بها ما يشاؤون.

(٤) هناك دراسة هامة حول مركزية عقيدة الخلق في تطوّر العلم:

Eugene M. Klaaren, *Religious Origins of Modern Science* (Grand Rapids: Eerdmans, 1977).

(٥) المرجع نفسه، ٢٩ ـ ٥٢. تسمى الحركة اللاهوتية والفلسفية التي شددت على إرادة الله، والتي تصر على أنه ليس من الضروري أن يخلق الله، أو أن يفعل ذلك بالطريقة التي فعلها، بالإرادية (voluntarism). راد ريجر هويكاس (Reijer Hooykaas) دراسة تأثير الإرادية على نهوض العلوم الحديثة الأولى. والدراسات اللاحقة عن تأثير الإرادية من أوغسطين إلى أوكهام إلى بويل إلى نيوتن كثيرة. ومن أبرزها: =

ولموازنة الرأي الذي ينظر إلى أن الله حر نورد الاعتقاد بأنه خيّر ومنطقي وليس متقلباً، ولا منطقياً، أو خبيثاً حتى، كما كانت الآلهة الوثنية عادة. وبسبب هذا، أمكن لليهود والمسيحيين أن يتوقعوا أن تكون الطبيعة منظمة ومقننة على مستوى بنيتها وسلوكها. الطبيعة في مجموعها ممكنة لكنها ليست متحولة في عملياتها الاعتيادية أو خادعة نزِقَة. فأصل العلم الحديث مشتق من هذا التوازن الدقيق بين الإمكان والانضباط. فانبثق العلم، ولا عجب، في ثقافة حملت هذه الأفكار على نحو متوازن(١)

وأخيراً: وبما أنهم آمنوا أن الإلٰه واحد وأن البشر مخلوقون على صورته، توقع مسيحيو ويهود العصور الوسطى أن تكون للطبيعة وحدة (لتكون كوناً واحداً)(٢) وأن تكون مُيَسّرة للعقل الإنساني. فكانت هذه الأفكار، التي

= Francis Oakley, *Omnipotence, Covenant, and Order: An Excursion in the History of Ideas from Abelard to Leibniz* (Ithaca: Cornell University Press, 1984); Margaret J. Osler, *Divine Will and the Mechanical Philosophy: Gassendi and Descartes on Contingency and Necessity in the Created World* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994); Jan W. Wojcik, *Robert Boyle and the Limits of Reason* (Cambridge: Cambridge University Press, 1997); Edward Bradford Davis, Jr., "Creation, Contingency, and Early Modern Science: The Impact of Voluntaristic Theology on Seventeenth Century Natural Philosophy" (Ph.D. dissertation, University of Indiana, 1984); and William J. Courtenay, "Capacity and Volition: A History of the Distinction of Absolute and Ordained Power," *Quodlibet: Ricerche e strumenti di filosofia medievale*, no. 8 Bergamo: Pierluigi Lubrina, 1990).

(١) نحن مدينون بهذه النقطة الهامة لمحاضرة ومحادثة شخصية مع الفيزيائي النووي ومؤرخ العلوم بيتر هودجسون (Peter Hodgson). للاطلاع على معلومات أساسية، انظر:

Stanley L. Jaki, Science and Creation (Edinburgh: Scottish Academic Press, 1986).

للاطلاع على مناقشة تفصيلية، انظر:

Thomas F. Torrance, Divine and Contingent Order (Oxford: Oxford University Press, 1981). õõí òÒíúÌÆ ëäòÓ Ãõ Thomas F. Torrance, "Divine and Contingent Order," *The Sciences and Theology in the Twentieth Century*, A. R. Peacocke, ed. (Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1981), 81-97.

(٢) يقول الفيزيائي الكبير فيرنر هايزنبرغ (Werner Heisenberg) في كتابه.

"Abstraction in Modern Science, *Across the Frontiers*" (New York: Harper & Row, 1974), 83, 87.

لقد خلقت هذه المحاذاة بين الصور البديهية المختلفة وأنواع القوة المختلفة مشكلة لا مناص للعلم منها؛ لأننا مقتنعون بأن الطبيعة، في آخر المطاف مرتبة بشكل موحد، بحيث تتم جميع الظواهر في النهاية وفقاً لقوانين الطبيعة.

ولعله من الجائز أيضاً أن نذكر هنا مقارنة أخرى، من ميدان التاريخ. يمكن التعرف على هذا التجريد الناشئ من الاستمرار في طرح الأسئلة، من البحث عن الوحدة بوضوح من أحد الأحداث الأكثر أهمية في تاريخ الدين. يمثل مفهوم الله في الدين اليهودي مرحلة أعلى من التجريد، مقارنة بفكرة آلهة =

آتت ثمارها من خلال التفاعل مع اليونانيين، المنبت الذي نمت فيه ببطء العلومُ الطبيعية. وإنه ليستبعد أن يكون من قبيل الصدفة أن يظهر العلم في زمان ومكان تجمعت فيه هذه العوامل المتعددة. ومع أنها الآن منسية، فإن العلم الحديث يستند إلى فوائد قناعات لاهوتية خاصة[١]

علم اللاهوت المسيحي وعلم الكونيات القديم:

إن بسط المناقشة في الثقافة اليونانية الوثنية، لا يعطينا بطبيعة الحال، نظرة كاملة وعادلة لمساهمة اليونانيين في العلم الحديث. أراد أفلاطون أن يخرج الشعراء بالتحديد من جمهوريته المثالية؛ لأنهم يصورون الآلهة على أنها غير أخلاقية، متقلبة، وغير عقلانية. التمس كل من أفلاطون وأرسطو طريقهما إلى فكرة المبدأ الكوني الموحد أو أن يكون متفوقاً بمعنى ما على بقية الكون، وهو التقدم الذي حفزهم بالتأكيد على رؤية الكون كنظام موحد بدلاً من فوضى يغشاها الاضطراب. لكن العلم لم يتطور بشكل كامل حتى تخمرت الحضارة الغربية بهذه القناعات اللاهوتية الخاصة. لقد اعتدنا على عزو السلسلة السريعة من الاكتشافات والاختراعات من القرن السابع عشر إلى الوقت الحاضر باكتشاف ما يسمى بـ«المنهج العلمي»، وهي عبارة مبسطة غالباً ما نستخدمها دون أن نفهم التربة التي نما منها العلم الحديث. ولا جرم أن كتابات أرسطو كانت جزءاً من هذه التربة، ولكن العلاقة بين

= الطبيعة المتعددة والمختلفة، التي يمكن اختبار نشاطها في العالم مباشرة. لا يكون التعرف على وحدة النشاط الإلٰهي إلا في هذه المرحلة العليا.

(١) «إن الإيمان في إمكانية العلم، المتولِّد سابقاً على تطور النظرية العلمية الحديثة، مشتق غير مقصود من لاهوت القرون الوسطى».

Alfred North Whitehead, *Science and the Modern World* (New York: Macmillan, 1925, 19).

وهناك حجة هامة أخرى ولكنها أقل شيوعاً وهي أن العلم الحديث قد اعتمد على عصر النهضة وخاصة الرغبة البروتستانتية في العودة إلى النصوص الأصلية، وفهم المعنى الجليّ للنصوص. وكان لهذا أثر واضح في اللاهوت والدراسات التوراتية، لكن ربما امتد المنطق إلى محاولات متجددة «لقراءة المعنى الجلي» لكتاب الطبيعة أيضاً. انظر:

Peter Harrison, *The Bible, Protestantism, and the Rise of Modern Science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998).

تصوره لعلم الكونيات والمسيحية أكثر تعقيداً بكثير مما تكشفه الحداثة.

على مدى قرون، لم يكن لدى الغرب «المسيحي» علم كونيات رسمي واحد؛ لأن النصوص والصور الإنجيلية تفتقر إلى التفصيل الواضح لتوفر نموذجاً للكون دون مصادر أخرى. ورغم ذلك ومع مرور الوقت، فإن تعرض العلماء الغربيين لفكر أرسطو ـ الذي انتقل معظمه من العالم الإسلامي ـ أدى إلى دمج علم الكونيات الأرسطي/البطلمي باللاهوت المسيحي. وهذا الدمج لم يكن في البداية زواجاً سعيداً. في عام ١٢٧٧م، أصدر أسقف باريس تحت تشجيع البابا يوحنا الحادي والعشرين، سلسلة من المراسيم التي تُدين/تستنكر الأرثوذكسية أو الأرسطية (الراديكالية)[١] والمشكلة المحورية أن أتباع أرسطو الأرثوذكسيين قيدوا حرية الإله في خلق العالم. كان ينظر أرسطو إلى الكون على أنه أزلي، بينما كان يراه المسيحي أنه خلق الإله المطلق الذي أخرجه إلى الوجود. ومع ذلك، فاعتدال توما الأكويني مع إضفاء الطابع الأرسطي، قد ظفر بالنصر في نهاية المطاف، وأصبح هذا التوليف بغض النظر عن صلاحه أو اعتداله الأساس الجامعة الذي يدرس في أقطار أوروبا[٢]

وبحلول عصر النهضة، بعد ثلاثة قرون، فهم المسيحيون المحاور الرئيسية لإيمانهم في الإطار الأرسطي/البطلمي. ومن الواضح أن نقطة الاتصال كانت استخدام المصطلح الفلسفي، الغائية (Teleology)، الجوهري لكل من أرسطو والتقليد اليهودي المسيحي. كل شيء في الكون الأرسطي كان «هادفاً» بمعنى أن كل شيء متجه نحو غاية أو هدف. كل شيء يتحرك في النهاية تحت تأثير حركة السبب الأول اللا متحرك (Unmoved First Cause)، وهو أيضاً السبب النهائي الذي يرجع إليه كل شيء. بمجرد تعميده «baptized»، قدَّم هذا المفهوم حجة معقولة لوجود وفاعلية الإله بالاعتماد على ملامح العالم الطبيعي.

وفي الوقت نفسه، لم يكن هناك شيء أساسي بين ثنايا علم الكونيات

(١) Blumenberg, *The Genesis of the Copernican Revolution*, 483-484

(٢) وبطبيعة الحال، لم يتبنَ طوما الأكويني (فكرة) أرسطو دون إلقاء نظرة نقدية، كما يدرك ذلك أي شخص قرأ له الخلاصة اللاهوتية (Summa Theologica). ومع ذلك، فإن أي مناقشة مفصلة للتخصيص الطوماي لأرسطو ستأخذنا بعيداً جدّاً عن موضوعنا.

الأرسطي بالنسبة للّاهوت المسيحي. فقد وجدت المسيحية دون نموذج أرسطو الكوني؛ وستعود كذلك مجدداً[1] لم يتطلب المذهب المسيحي الغائية بالمعنى الأرسطي الطبيعي إلى حدٍّ ما. وفي الواقع، واصل العديد من غير الأرسطيين لاحقاً - مثل **غاليليو**، **كبلر**، **نيوتن**، **وبويل** - تطبيق مفاهيم الغائية على العالم الطبيعي بالإشارة إلى التكوين المعقد بدقة والمنظّم للمعالم الطبيعية، التي توحي بفاعلية مصمم ذكي[2] لكن بحلول عهد **بويل**، كان يُنظر إلى الطبيعة أكثر باعتبارها آلة معقدة ومتشابكة، وقطعة من الذكاء بدلاً من كائن حي تتجه أجزاؤه منفردة نحو غاية تحركها دوافع داخلية.

وأخيراً وليس آخراً؛ فالأعلام الرئيسية التي اقترحت علم الكونيات الجديد كانت شخصيات متدينة. وهكذا فحين ينبت القمح ونبتت الزوان معاً من الصعب أن يفصل بينهما، هكذا تم إعداد مرحلة الشقاق عندما بدأ علم الكونيات القديم الأرسطي/البطلمي بالانهيار.

الثورة الكوبرنكية (الحقيقية):

عاش **كوبرنيكس** خلال عصر النهضة والإصلاح المبكر (١٤٧٣ - ١٥٤٣م)، فترات حافلة بالتغيرات والاضطرابات الهائلة التي أسهمت في تحريك أفكار **كوبرنيكس الثورية. وإلى جانب سياقه الفكري، فقد كان مدركاً**

---

(١) يعكس جون ميلتون (John Milton) هذا الاقتناع مسبقاً في الفردوس المفقود، الكتاب الثامن، الأسطر ٦٦ - ٧١ (١٦٦٧):

فالسَّماءُ
مثْلَ كتابِ الله المَفْتوحِ بين يَديْك
الذي تقْرَأ فيه عَمَله البَدِيع...
فسَواء كانت السَّماءُ في حرَكَةٍ أمْ الأَرض
لا يَهُم...

مقتبسة في:

Owen Gingerich, *The Eye of Heaven* (New York: American Institute of Physics, 1993), 284.

(٢) يسمي بارو وتيبلر هذا النوع من حجة التصميم إتقانيّاً (eutaxiological)، الذي يتطلب أن النظام يجب أن يِكون سبباً مخطّطاً، وغائيّاً، والذي يناقش من النظام إلى الغاية الناتجة. انظر:

The Anthropic Cosmological Principle, 29, 44, 88, 89, 144

لمشكلة تجريبية: وهي أن حركة الكواكب لا توافق أبداً والإطار الأرسطي. تطلب تفسير حركة الكواكب افتراض «أفلاك التدوير» (epicycles) و«معدلات المسار» (equants) المعقدة وغير المنسجمة لاستيعاب تغيرها الظاهري أثناء عبورها السماء(١) اقترح النموذج الرياضي لكوبرنيكس في سفره «عن دوران الأجرام السماوية» (De Revolutionibus Orbium Caelestium) الذي نشر بينما هو طريح على فراش الموت، أن الأرض تدور حول محورها وتدور حول الشمس مع الكواكب الأخرى (ومع ذلك وعلى خلاف التصور الشائع، فهو لم يضع الشمس في مركز مدار الأرض بالضبط). وعلى أمل أن يحل هذا المخطط بعض التعقيدات في المدارات الكوكبية، فهو لم يكن بحاجة لأفلاك التدوير أو أي تفسيرات مخصصة أخرى. ولم تكن الملاحظات الدقيقة بما يكفي متاحة للتحقق من مخطط **كوبرنيكس** عندما اقترحه سنة ١٥٤٣م(٢)؛ ومع ذلك، فقد حقق **كوبرنيكس** قفزة خيالية هامة(٣) وأخذ بأولوية الشواهد الغريبة للكواكب بخلاف أسلافه، واقترح حلاً نظرياً يبدو لكثيرين أنه يناقض أدلة الحواس. وسيظهر التاريخ أنه وفي هذه النقطة قد اختار الخيار صحيح. استهل **كوبرنيكس** رؤية كون أوسع بلغ أوجه في الكون اللانهائي لنيوتن.

---

(١) ومع ذلك فَبِخلاف الوصف المتعارف عليه، لم تزدد النماذج أكثر تعقيداً بشكل ملحوظ منذ زمن بطليموس إلى كوبرنيك؛ لأن الملاحظات المنهجية لتحسين نموذج بطليموس كانت قليلة جدّاً. وكانت الإضافات الرئيسية الهامة **تخوُّفاتٌ** أضافها الفلكيون الإسلاميون قبل ١٠٠٠ سنة ميلادية للحفاظ على دقة القيم البطلمية لمواقع النجوم. ولم تحدث الملاحظات المنهجية الدقيقة إلا **بعد** زمنِ كوبرنيك. (انظر: Gingerich, *The Eye of Heaven*, 25-26. لذلك **فهو** مطلب مبالغ فيه حتى يُقال به، كما فعل توماس كون [في *Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: University of Chicago Press, 1962), 67-68]، في أنّ «أزمة» و«فضيحة» قد عجلت بفكرة كوبرنيك المجدَّدة. انظر: Gingerich, 193-204.

(٢) انظر: المرجع نفسه، ٦. وهذا يناقض وصف الوضعية لنظر/لفراسة كوبرنيك، الذين يدعون بأن ذلك كان نتيجة للبيانات التجريبية، وأن نظام كوبرنيك كان أبسط بكثير من المخطط القديم.

(٣) ساعد النقاد السكولائيون الأوائل لعلم الكونيات الأرسطي ـ مثل جان بوريدان (Jean Buridan) ونيكول أورسمه (Nicole Oresme)، وغيرهما من «الإسميين» ـ أيضاً في وضع الأساس. ولم يكن كوبرنيك أول من يفترض المركزية الشمسية. إذ افترض أريستارخوس ساموس (٣١٠ ـ ٢٣٠ قبل الميلاد) قبل ذلك بزمن أن الأرض تدور في كون مركزه الشمس، حول محورها. ومع ذلك ولسبب ما، لم يكن المناخ الفكري في زمن أريستارخوس ملائماً لاستضافة مثل هذه الفكرة، خلافاً لكوبرنيك.

ولكن كوبرنيكس لم يكن تجريبيّاً فاتراً، منفصلاً عن المعرفة الحديثة، ولم تكن لديه أي نية «للحَطّ» من منزلة الإنسان[١] على العكس من ذلك، وكرجل من عصر النهضة، ناشد بإخلاص إلى الافتراضات المتعلقة بمركزية الإنسان في إقامة دعواه[٢] كانت مركزية الإنسانية أكثر أمناً في كنف الإنسانية النهضوية (Renaissance humanism) المتأثرة ببعض التقاليد الكلاسيكية والرواقية بشكل خاص مما كانت عليه مع التأليف الأرسطي خلال القرون الوسطى الذي سبقها.



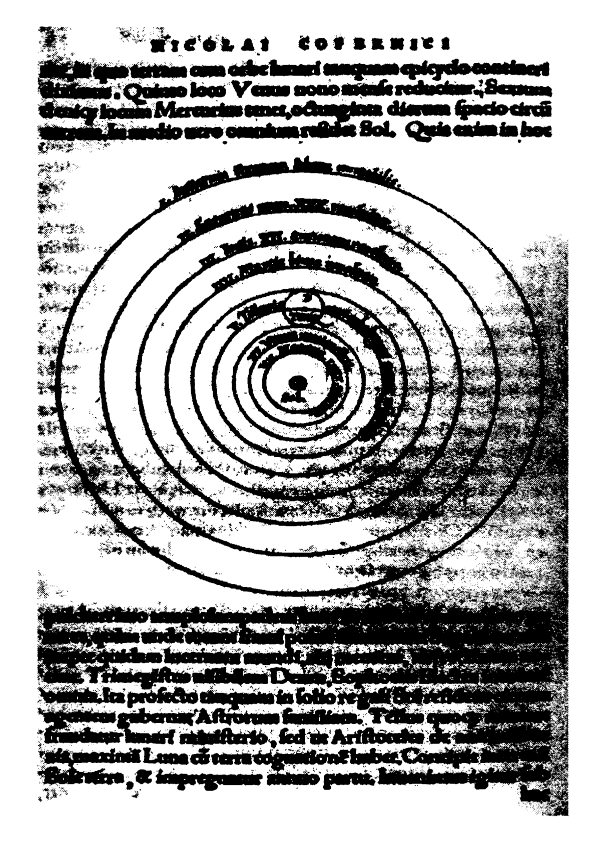
● **الشكل ١١,٤:** نيكولا كوبرنيكس (١٤٧٣ ـ ١٥٤٣م).

---

(١) ومع ذلك، فإن تطلعاته للفلسفة الطبيعية، أو ما نسميه الآن بالعلوم، لا تزال مثيرة للإعجاب. ففي مقدمته لكتاب «عن دوران الأجرام السماوية»، المرسلة إلى البابا بولس الثاني، يقول: «إني أعلم أن أفكار الفيلسوف بعيدة عن متناول الرأي العام ـ ذلك أن هدفه هو البحث عن الحقيقة في الأشياء ـ بقدر ما يمكن للعقل البشري أن يفعل ذلك بإذن الله. لكنني أعتقد أنه ينبغي تجنب الآراء الخاطئة تماماً». مقتبسة في: Danielson, *The Book of the Cosmos*, 105.

(٢) Blumenberg, *The Genesis of the Copernican Revolution*, xiii, 173-185.

تقدم افتراضات كوبرنيك المتعلقة بالتمركز الإنساني دليلاً على أثر الشق الرواقي الجديد لعصر النهضة.


NICOLAI COPERNICI

in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur. Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circū currens. In medio vero omnium residet Sol. Quis enim in hoc

● الشكل ١١,٥: يبين هذا المقطع العرضي للكون شمسي المركز، من كتاب كوبرنيك عن دوران الأجرام السماوية (١٥٤٣م)، دوران الأرض مع قمرها حول الشمس، والكواكب الأخرى المعروفة آنذاك.

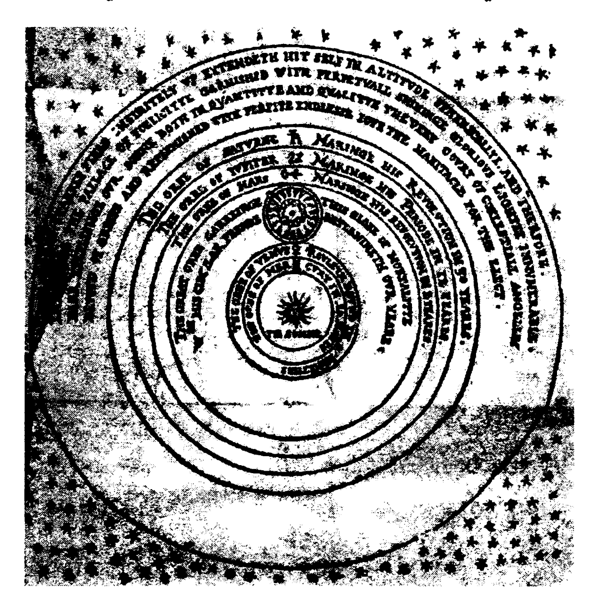
دفع ضغط الأفلاطونية الجديدة للإنسانية النهضوية بالبحث في البساطة الرياضية و«الانسجام» في الطبيعة. وغرس فيه حسّاً جماليّاً يدعوه إلى اعتقاد أن الحركة غير المنسجمة للكواكب لغز يجب حله؛ إذ يقول توماس كون: «لقد كان الشعور بالضرورة الملحة هو أصل اكتشاف **كوبرنيكس**؛ لكن هذا الشعور كان من نوع جديد»[1] وألهمت الأفلاطونية الجديدة أيضاً تبجيله للشمس، وسمحت له بتجديد معنى المركز المادي القديم في علم الكونيات الأرسطي الأولي. وعدا ذلك، كانت مَرْكزية الشمس لتنزل من رتبتها، كما يعبّر عن ذلك مؤرخ العلوم **دنيس دانيلسون** (Dennis Danielson)، «كان **كوبرنيكس** في حاجة لتجديد الطابق الأرضي [الكوني]؛ لأن هذا الطابق كان

---

(١) Kuhn, *The Copernican Revolution*, 139.

بحاجة إلى التجديد»[١] لذلك كان نهج **كوبرنيكس** كالتالي:

تتربع الشمس على عرشها بقلب ما يحيطها من أشياء. هل كان يمكن أن نضع هذا الجرم في هذا المعبد الجميل في أي موضع أفضل بحيث يضيء كل شيء في آن واحد؟ لقد كان حقيقاً بأن تحمل اسم المصباح؛ العقل، وحاكم الكون: يدعوها **هيرميس تريسمجيستوس** (Hermes Trismegistus) بالإله المرئي؛ وتدعوها إلكترا في تراجيديا سوفوكليس بالبصير (All-seeing). فتقعد الشمس إذن على العرش الملكي لتدير شؤون أبنائها الكواكب التي تدور حولها[٢]



● **الشكل ١١،٦: مقطع إنجليزي كوبرنيكي قديم للكون لتوماس ديجز (١٥٧٦م). رغم أن نموذج ديغز الكوبرنيكي كان متحفظاً، فقد كان على ما يبدو أول من اخترق الجدار الخارجي المحدود للكون ليفسح مجالاً لا نهائيّاً من النجوم.**

---

(١) دينيس دانييلسون، في محاضرة عامة.

"Copernicus and the Tale of the Pale Blue Dot", to the American Scientific Affiliation, Lakewood, Colorado, July 25-28, 2003.

(٢) Kuhn, *The Copernican Revolution*, 131.

لاحِظ أن كلمة «المركز» هنا محمولة على معنى مختلف إلى حدٍّ ما. كانت الأرض في المخطّط القروسطي مركزيةً بشكل حرفي، لكن المركزية لم تكن موكب شرف؛ لأن الأرض كانت في الواقع مستنقعاً كونيّاً. ومع ذلك فقد أعاد كوبرنيك تأويل المركز على نحو جريء، بحيث تكون مركزية الشمس موكب شرف. ومع ذلك، وبما أن الأرض تعكس ضوء الشمس، فقد علا شأنها بشكل أكبر من علم الكونيات الأرسطي. وغالباً ما يُغفل عن هذه الدِّقَّة في التأويلات الشائعة للثورة الكوبرنيكية.

في الوقت نفسه، أسس رؤاه في ملاحظات محددة، فانطلق من الفصل الأفلاطوني الجديد الجوهري بين عالم المظاهر الوهمية المُحَسّة من جهة، والحقيقة المعقولة من جهة أخرى[1] كانت نظرته هذه أفلاطونية جديدة مسيحية عكس العالم المادي ـ بوصفه خلقاً للإله القادر ـ دقة الرياضيات، وهو ما لم يخطر ببال الأفلاطونيين الجدد ذوي التفكير الصارم. ولولا هذا التعديل للأفلاطونية الخالصة، لما وقع في خلد **كوبرنيكس** أن الحركة الظاهرية غير المنسجمة والفوضوية من الناحية الرياضية للكواكب مشكلاً يستنجد حلّاً. فكانت هذه الأفلاطونية الجديدة التي عدلتها المسيحية تأثيراً موجهاً ذا أهمية لـ**كوبرنيكس** وعلماء النهضة الذين تبعوه، منهم **غاليليو** **وكبلر**[2]



● **الشكل ١١,٧:** تيخو براهي (١٥٤٦ ـ ١٦٠١م).

---

(١) Blumenberg, *The Genesis of the Copernican Revolution*, xvii, 230-255

(٢) انظر: مناقشة دفاع كولينغوود (R. G. Collingwood) عن هذه النقطة في:
Eugene M. Klaaren, *Religious Origins of Modern Science*, 11-13.

وبصرف النظر عن تجديده، احتفظ كوبرنيكس بمفهوم الأجرام السماوية المستديرة تماماً، إلى جانب عناصر أخرى من علم الكونيات الأرسطي القديم، كما يقول توماس كون: «إنّ الأهمّية لكتاب عن دوران الأجرام السّماوية. لا يكن فيما قاله بل فيما حمل الآخرين على قوله»[(١)] ومن الأمور المثيرة أن أحد أهم خلفاء **كوبرنيكس**، كان مضاداً للكوبرنيكية، وهو **تيخو براهي**[(٢)] (Tycho Brahee (1546-)1601). اقترح **براهي**، الدّنماركي والفلكي بالعين المجرّدة، نموذجاً كونيّاً جعل الأرض فيها النقطة المركزية الثابتة لجسم كروي نجمي دوار، الشمس والقمر، مع الكواكب الأخرى التي تدور حول الشمس[(٣)] لكن إرثه الدائم هو سجل مراقبته الجدير بالاعتبار، والذي أتاح لنائبه الكوبرنيكي، **يوهانز كبلر** (Johannes Kepler, 1571-1630)، حل العديد من المشاكل التي تصدت لاقتراح **كوبرنيكس**. ساعد ظهور «نجم مستعر جديد» (nova) سنة ١٥٧٢م، وملاحظات **براهي** للمذنبات التي كان يتوهم سابقاً أنها ظواهر جوية، على تعجيل سقوط معتقدين أرسطيين آخرين: ثبات السماوات ووجود الكرات السماوية المتراكزة (لها نفس المركز).

سمح **كبلر** بالوصول إلى ملاحظات **براهي** التفصيلية بتصحيح السجلات القديمة غير الدقيقة التي ورثها **كوبرنيكس**.

---

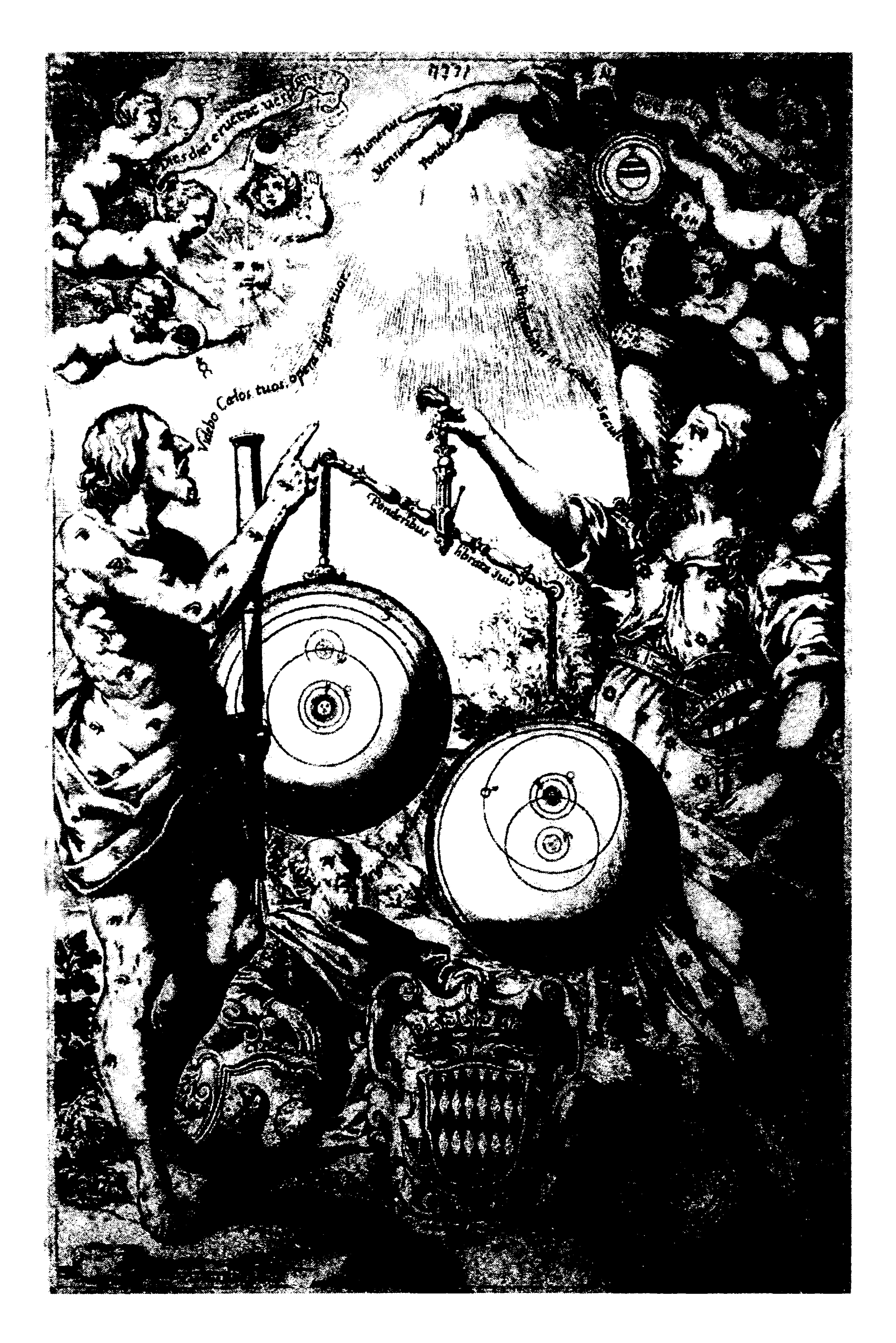
(١) Kuhn, *The Copernican Revolution*, 135.

(٢) يصوغها هانس بلومنبرغ في عبارة لطيفة: «إذا نظرنا إلى تاريخ التأثير الذي خلفه كوبرنيك، فإن انتصاره لم يكن على خصومه بقدر ما كان انتصاراً من خلالهم». (تكوين الثورة الكوبرنيكية، ٣٥٣).

(٣) بطريقة ما، كان اقتراح براهي، على الرغم من أنه كان حلّاً وسطاً بين النماذج القديمة والنماذج الكوبرنيكية، خروجاً جذريّاً من المخطط الأرسطي/البطلمي؛ لأنه جعل الكرات السماوية المتراكزة مستحيلة. بسّط نموذجه أيضاً الملاحظات، وربما أكثر مما فعل نموذج كوبرنيك. لذلك فتفوّق اقتراح كوبرنيك لم يكن واضحاً حقّاً إلا بعد أن عدّله كبلر باستخدامه مدارات إهليلجية.



● الشكل ١١،٨: واجهة كتاب اليسوعي أثانيسيوس كيرتشر (١٦٦٠)، ممثلة نظام براهي. في نظام براهي، تستمر الشمس في الدوران حول الأرض، كما في المخطط البطلمي، لكن الكواكب الأخرى تدور حول الشمس، كما في مخطط كوبرنيك. غالباً ما يعتبر نظام براهي حلّاً وسطاً بين بطليموس وكوبرنيك في حين أنه قطيعة جذرية مع الفكرة التقليدية من الأجرام السماوية الثابتة.



● الشكل ١١,٩: واجهة المجسطي الجديد (**Almagestum novum**)، لجيوفاني باتيستا ريتشيولي **(Giovanni) Battista Riccioli,(1651**). في هذه الصورة الفنية بالتفاصيل، تحمل أورانيا، إلهة علم الفلك، مقياساً يزن نظام براهي وكوبرنيك فيرجح الأول الثاني. كان نظام براهي البديل الرئيس للكوبرنيكية على مدى سنوات. لاحظ أن النظام البطلمي في الزاوية اليمنى من أسفل الصورة وقد تم رفضه بشكل واضح، حتى أن وزنه لا يرد في المقاييس.

استلهم اللّوثري المتديّن[1] **كبلر**، المنطق الذي لم يتبنه كوبرنيكس إلا جزئيّاً. فكان لديه انجذاب خفي نحو التوافقات المنتظمة التي ألهمته للبحث عن قوانين بسيطة رياضيّاً للحركة السماوية. وفي الوقت نفسه، قاده التزامه بالواقعية واستعانته بالبيانات الموثوقة في النهاية إلى اقتراح المدارات الكوكبية الإهليلجية التي تتغير من حيث السرعة، وكلتا الفكرتين تناقضان الأرسطية الصارمة[2] من ناحية أخرى، كان **كبلر** سباقاً لحجتنا بإدراكه لقيمة التواجد في مكان آخر غير مركز الكون بالنسبة للملاحظات الفلكية:

لذلك فمن الواضح أنّه لم يكن مناسباً للإنسان كمقيم في الكون قُدّر له أن يكون مراقباً فيه، أن يعيش بداخله كما لو كان في غرفة موصدة، وما كان له في ظلّ هذه الظّروف أن ينجح أبداً في تأمّل الأجرام السّماوية السّحيقة. ففي المقابل، ومن خلال تواجده على وطنه الأرض، وبفضل طوافها السّنوي فهو يدور متنقّلاً في هذا الصّرح الفسيح، حتى يتمكّن من أن يدرس ويقيس بأقصى دقّة ممكنة الأجسام الإنفرادية بجواره. وهو ما يقارب نوعاً ما النّهج الذي يتبعه فنّ الهندسة لقياس الأجسام التي يتعذّر الوصول إليها. ولو كان هذا المراقب الأرضي يتحرّك من مكان لآخر، ويتحمّل عناء وجوده في المكانين، لما كان بإمكانه تحقيق القياس المطلوب[3]

---

(١) انظر:

Gingerich, *The Eye of Heaven*, 39-51.

(٢) يمكن اعتبار مقدمة كبلر بمثابة تحول نموذجي حقيقي من التعلق القديم بالمدارات الدائرية. انظر:

D. Boccaletti, "From the Epicycles of the Greeks to Kepler's Ellipse-The Breakdown of the Circle Paradigm," presented at Cosmology Through Time-Ancient and Modern Cosmology in the Mediterranean Area [Monte Catone (Rome), Italy], June 18-21, 2001. xxx.lanl.gov/abs/physics/0107009.

(٣) في: Kepler, Optics II, 277: 21-29, in Gesammelte Werke (Munich: Beck, 1937), Edward Rosen, trans., in Kepler's Conversation with Galileo's Sidereal Messenger (New York: Johnson Reprint Corporation, 1965), 45.

يجب علينا أن نشكر مايكل كرو (Michael Crowe) على قراءة أجزاء من مؤلفنا المكتوب، وتنبيهنا إلى هذه البصيرة المرموقة لكبلر.

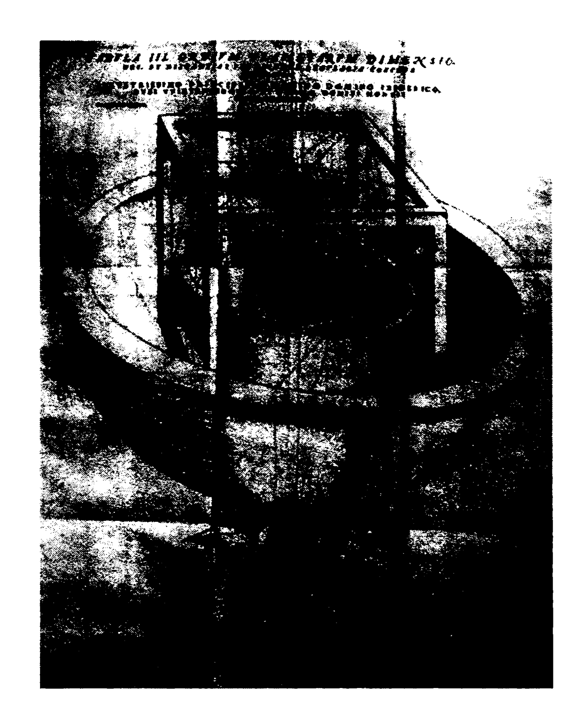


● **الشكل ١١,١٠**: يوهانز كبلر (١٥٧١ ـ ١٦٣٠م).

وأضاف **غاليليو** ملاحظات حسنها التلسكوب. اكتشف **غاليليو** وهو يمعن النظر في السماء من بوابته، مجموعة مذهلة من النجوم التي لا ترى بالعين المجردة. واكتشف الأقمار «الغاليلية» الأربعة لكوكب المشتري ورأى أطوار الزهرة. أظهر كل من هذين الاكتشافين أن الأجسام لا تتخذ كلها الأرض مركزاً لها في حركتها. ولاحظ أيضاً الحفر، والوديان، والجبال على القمر ووجد بقعاً على الشمس. فناقضت هذه «العيوب» الاعتقاد بأن جميع الأجسام السماوية كرات «لا شائبة فيها».

في علم الكونيات الأرسطي، كان سيتم تجاهل هذه الشذوذ أو التخلص منها بطريقة أو بأخرى. حاول **غاليليو** ألا يقوم بشيء من ذلك؛ بل على العكس من ذلك، فقد عززت كشوفاته مصداقية علم الكونيات الجديد الناشئ.

لذلك، وبصرف النظر عن مكانة الأرض، رأى **كوبرنيكس**، **وغاليليو**، **وكبلر** أن هذا المخطط الجديد يرفع من شأنها. دافع **غاليليو** خصوصاً عن مفهوم «وَهَج الأرض» (earthshine)، الذي تعكس فيه الأرض نور الشمس وبهاءها أكثر مما يعكسه القمر. واعتقد أن الموضع الجديد للأرض قد أزاحها من الرتبة الموصومة التي كانت تحتلها في الكون الأرسطي، ليعرج بها إلى السماوات:



● **الشكل ١١,١١: تكشف هذه «القبة الفلكية الهندسية» (geometric planetarium) التي أنجزها يوهانس كبلر سنة ١٥٩٦م عن ميوله الداخلي للانسجام الرياضي في الطبيعة.**



● **الشكل ١١,١٢: غاليليو غاليلي (١٥٦٤ ـ ١٦٤٢م)، في صورة صدّر كتابه حول البقع الشمسية (١٦١٣م).**

ستُقدّم عدّة حجج لإثبات انعكاس قوي جدّاً لضوء الشّمس من الأرض ـ لصالح أولئك الذين يؤكدون أساساً أن الأرض لا حركة لها ولا ضوء، وأنه يجب استبعاد الأرض من رقصة النجوم. فإني سأثبت أن الأرض ذات حركة، وأنها تفوق القمر من حيث الضّياء، وأنها ليست مستنقعاً تتجمّع فيه حثالة الكون وسفسافه[(١)]

إن سحب **غاليليو** لآرائه أمام القضاء عام ١٦٣٣م حادثة أسيءَ فهمها بشكل كبير في تاريخ العلم. ولا يمكن اختزالها إلى نزاع بسيط بين السعي العلمي للحقيقة والخرافة الدينية. فهي تشمل عدداً من العوامل المعقدة والمراوغات التاريخية، وعدداً من الأبطال والأشرار. لم يصرّ غاليليو على تأييد الكنيسة لوجهات نظره فوراً بدل أن تسمح لِرؤاه بنيل القبول على نطاق واسع تدريجيّاً وبشكل مقدّر، فحسب؛ بل إنّه استهزأ بالبابا أوربان الثامن في عمله **«محاورة حول النظامين الرئيسيين للكون: البطلمية والكوبرنيكية»** (*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*) الصادر سنة (١٦٣٢م)[(٢)]

وفي الوقت نفسه أغضب الأرسطيّين العلمانيين الذين ترأّسوا الجامعات وكرّسوا حياتهم المهنية لعلم الكونيات القديم. وأثار غيظهم لمّا نشر أفكاره باللّغة الإيطالية العامّية الشّعبية عوض اللّاتينية العلمية المعتادة. وفي جميع الأحوال، فغاليليو لم يُنتقد لتعليمه الكوبرنيكية في المقام الأوّل؛ بل ينتقد لأنه أخلف وعده السّابق بأن يمتنع عن تعليمها باعتبارها خفيفة حرفية[(٣)] وحتّى بعد انتقاده هذا استمرّ في الحصول على معاش من الكنيسة لبقية حياته، وهي المعاملة التي يمكن للمرء أن يتوقّعها من سلطة الكنيسة القمعية. ليست هذه سوى بعض التّعقيدات التي تجعل الحادث مثلاً رديئاً كرمز للحرب الأبدية بين العلم والدّين[(٤)]

---

(١) Galileo, Sidereus Nuncius, quoted in Danielson, *The Book of the Cosmos*, 150.

(٢) انظر: معاينة كيتي فيرغسون (Kitty Ferguson) المتوازنة للموضوع في كتابها:
Measuring the Universe: Our Historic Quest to Chart the Horizons of Space.and Time (New York: Walker, 1999), 94-105

(٣) نحن مدينون بهذه النظرة إلى محادثة مع بيتر هودجسون، فضلاً عن المراسلات الخاصة وورقته «Galileo the Scientist».

(٤) Blumenberg, *The Genesis of the Copernican Revolution*, 421-30.

للاطلاع على دراسة نقدية موجزة لـ "Galileo Legend" úÌÂî ûõøúŠ¤ =



● الشكل ١١,١٣: غالباً ما يعتقد خطأً أن الشخصيات الواردة في هذه الصفحة من كتاب غاليليو «محاورة حول النظامين الرئيسيين للكون: البطلمية والكوبرنيكية» (١٦٣٢م) الذي أدى إلى محاكمة شائنة وجائرة في حقه أمام محاكم التفتيش، تشير إلى طرفي الحوار. يظهر على يمين الصورة كوبرنيك وهو يحمل نموذج الممثل لمركزية الشمس، في حوار مع أرسطو وبطليموس (على اليسار) الذي يحمل بيده ذات الحلق (**armillary sphere**) وهي نموذج لمركزية الأرض. اختار غاليليو هدفاً سهلاً بجعل النظام البطلمي يُهزم أمام الكوبرنيكية. وتجاهل نظام براهي الذي كان في الواقع البديل الرئيسي للكوبرنيكية آنذاك.

M. Lessl, "The Galileo Legend as Scientific Folklore," *Quarterly Journal of Speech*85 (1999), 146-168. =

كما أن إعدام الراهب الدومنيكاني **جيوردانو برونو** (Giordano Bruno) في روما عام ١٦٠٠م حدثٌ آخر أسيءَ فهمه، فعلاقته بالقصة التي نريد سردها تبدو قليلة، مع التأكيد على أن إعدامه يمثّل بقعة مظلمة في تاريخ الكنيسة. كانت آراؤه الكوبرنيكية تصادفية، ولأنّه كان يدافع أيضاً عن وحدة الوجود وعن فكرة أزلية الكون مع عدد لا متناهٍ من العوالم المعمّرة، وهي أفكار لا تنطوي أيّ منها على الكوبرنيكية. بل **برونو** لم يكن عالماً حتّى. ومع ذلك فكثيراً ما استدعاه الكتّاب إلى الخدمة لتأطير المناقشة حول إمكانية حياة خارج كوكب الأرض، أو لإثبات أن الدّين كان يهدف إلى تدمير كل تجريبيّ نبيه مقدام يمكن أن تجده[١] وفي الواقع، لم يكن من المؤكد أن **برونو** قد تم إعدامه بسبب آرائه «الكوبرنيكية» ولكن لتصوراته المهرطقة عن الثالوث والتجسد والعقائد الأخرى[٢].

ومن المهم أيضاً أن نلاحظ أن الكثير من المقاومة التي تصدت لما نسميه بالثورة الكوبرنيكية نشأت من حقيقة أنها ـ لبعض الوقت ـ تركت العديد من الأسئلة الهامة دون إجابة، خاصة عن كيفية تنقل الكواكب والنجوم في انسجام دون الكرات السماوية. هناك نظرة مركزية وهي الانتقال من اعتقاد أرسطو في حركة القذيفة حيث يجب على الأجسام المتحركة أن تحافظ على الحركة، إلى المفهوم الحديث للقصور[٣]، الذي يستمر فيه جسم متحرك في الحركة ما لم

---

(١) لا يحتاج المرء إلى النظر بعيداً لإيجاد الأمثلة. فعلى سبيل المثال، يناقش مؤلف المقال الصحفي لموضوع حزيران/ يونيو ٢٠٠١م لمجلة *Sky & Telescope* الإمكانية المستقبلية لأول اكتشاف **بصري** لكوكب خارج النظام الشمسي حول إبسيلون إريداني (Epsilon Eridani)، وهو ثالث أقرب نجم إلى الشمس يرى بالعين المجردة. القصة مثيرة للاهتمام بشكل جوهري، وهي لا تتعلق ببرونو. ومع ذلك، فهي تفتتح بالاقتباس الشهير لبرونو عن العوالم المأهولة المتعددة، وتتضمن صورة بارزة لتمثال برونو، الذي يمثل مكان إعدامه في روما. Govert Schilling, "The Race to Epsilon Eridani," 34-41.

(٢) يعاين هانز بلومنبرغ هذا بالتفصيل في باب بعنوان "Not a Martyr for Copernicanism: Giordano Bruno," *The Genesis of the Copernican Revolution*, 353-385. لاحظ أن ادعاء برونو بأن العالم أبدي كان افتراضاً أرسطيّاً، ولم يكن كوبرنيكيّاً.

(٣) Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science* (New York: The Free Press, 1957), 13-28.

وكان مفهوم «انتقال» النبض الذي وضعته نيكول أورسمه وجان بوريدان في منتصف القرن الرابع عشر =

توقفه رياح تسحبه أو أي شيء آخر. هناك رؤية أخرى ذات صلة تتعارض أيضاً مع أرسطو، وهي فهم **نيوتن** الرياضي للجاذبية، الذي سمح للأجسام بالتأثير فيما بينها عن بعد دون اتصال مباشر. تمكن **نيوتن** مستغنياً عن الفصل السابق بين العوالم الأرضية والسماوية، أن يصف حتى إن لم يستطع أن يفسر، سقوط الأجسام على الأرض ودوران الكواكب حول الشمس.

بالنسبة لـ**نيوتن**، كانت القوانين الطبيعية سبل الإله العادية أو النظامية للتصرف في العالم، وكانت المعجزات سبله غير العادية أو غير النظامية للقيام بذلك[(١)]



● **الشكل ١١,١٤:** إسحاق نيوتن (١٦٤٢ ـ ١٧٢٧م).

= مهمّاً أيضاً. وهذا مثال واحد فقط يوضح كيف كانت «العصور الوسطى» مهمة لنهوض العلوم. للاطلاع على مقدمة في العلوم في الثقافات القديمة والقروسطية والإسلامية، انظر:

David C. Lindberg, The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600 B.C. to A.D. 1450 (Chicago: University of Chicago Press, 1992).

(١) يناقض هذا الوصف الإظهار الاعتيادي لنيوتن باعتباره شبه ربوبي. لتعليلٍ لهذا التفسير، انظر:

Edward B. Davis, "Newton's Rejection of the 'Newtonian World View': The Role of Divine Will in Newton's Natural Philosophy," *Science & Christian Belief* 3 (1991): 103-117.

ووفقاً لطريقة **نيوتن** في التفكير، إلى جانب الفعل العادي للقوانين الفيزيائية، يتصرف الإلٰه بالحفاظ على حركة الأجرام السماوية، وبوضع المدارات الأولية للكواكب[١]، ومنعها لاحقاً من التناثر. لم يتردد **نيوتن** في الاحتكام إلى الأفعال الإلٰهية الخارقة للعادة لتفسير ملامح العالم الطبيعي. ومع ذلك، فإن كثيراً من خلفائه ظنوا أنه كان يلمح بأن على الإلٰه أن «يصحح» أفعاله العادية. وفضلوا بدلاً من ذلك المعنى الذي تتجلى فيه قدرات الإلٰه التي لا تتمثل في أفعاله غير النظامية في الطبيعة بل عن طريق وضع «قوانين» منتظمة تحكم الكون بأسره.

ثمّ مع الحجج المتشكّكة للتّنوير اللّاحق والتّسلسل المادّي الأبيقوري للفكر الذي تم إحياؤه خلال عصر النهضة (الحاضرة سابقاً في عهد **غاليليو** وآخرين)[٢]، أفل مفهوم **مُشرّع قوانين الطبيعة ببطء، وأفل معه مفهوم نيوتن** للقانون الطبيعي[٣] وحل محله مفهوم ذري ومجهول للقانون كضرورة طبيعية ميكانيكية، وهدد هذا الرأي لبعض الوقت بحشد جميع التفسيرات الأخرى (كالصدفة والتصميم) في خانة العلوم الطبيعية. ترك خلفاء **نيوتن** الربوبيون صورة للطبيعة باعتبارها آلة عالية الدقة وقائمة بذاتها وأبدية ولا نهائية. ونفى آخرون تماماً بعد أن تركوا التوجه الغائي لـ**أرسطو** وحجج التصميم الدقيق لـ**نيوتن**؛ أي: مفهوم متعلق بالتصميم من العالم الطبيعي. إن مفهوم الصدفة الذي تحقق بصعوبة في العصور الوسطى ودافع عنه العديد من مؤسسي العلوم الحديثة، أصبح مرة أخرى في خطر الرضوخ لنظام حتمي. أدت نظرية التطور

---

(١) في الواقع، يقدم نيوتن في الشّرح العام (General Scholium)، ضمن سفره الشهير «الأصول»، حجة التصميم فقط. انظر:

Isaac Newton, Mathematical Principles of Natural Philosophy (Berkeley: University of California Press, 1960), 542-544.

(٢) للاطلاع على مناقشة تطور المادية الأبيقوريّة في عصر النهضة، انظر:

Benjamin Wiker, Moral Darwinism: How We Became Hedonists (Downers Grove: InterVarsity Press, 2002).

(٣) وربما كان ذلك ممكناً جزئيّاً بسبب التناقض في مفهوم القانون الطبيعي، الذي كان مذكوراً في كتابات نيوتن. انظر:

John Hedley Brooke, "Natural Law in the Natural Sciences: The Origins of Modern Atheism?" *Science and Christian Belief 4 (1992): 83-103.*

لداروين في القرن التاسع عشر والإفصاحات المبهمة عن عالم الكم في القرن العشرين بالبعض إلى إعادة اعتبار الصدفة كتفسير علمي[١]، وعلى الرغم من المعارضة الشديدة، توجد همسات متزايدة أن التصميم أيضاً، يمكن أن يكون له دور يلعبه في علم القرن الحادي والعشرين.

أين نحن من المسألة ولماذا هي مهمة؟

هذا مجرد رسم تقريبي لأصول العلم الحديث. ولكنه يكفي لفضح النسخة المستلمة كأسطورة مبالغ فيها. فمركزية الأرض في علم الكونيات ما قبل الكوبرنيكية كانت تعني شيئاً مختلفاً تماماً بالنسبة إلى ما قبل الكوبرنيكيين مما تعنيه في الكتاب المدرسي المعهود الذي درسناه جميعاً[٢] لا يوجد أي استدلال بسيط من الموقع المركزي إلى المكانة العالية عدا أن

---

(١) إننا لا نؤيد كفاية نظرية داروين لتفسير التكيف والتعقيد البيولوجي، كما أننا لا نؤيد تفسير «كوبنهاغن» للظواهر الكمومية، ولكننا نشير فقط إلى أن الصدفة، كتفسير علمي، ما عادت تعتبر محظورة. تحتل «الصدفة» مكانة مختلفة في الداروينية عن مكانتها في تفسير كوبنهاغن للظواهر الكمومية. فبالنسبة لداروين، كانت التغيرات نتيجة للصدفة بمعنى أنها لا تحدث قصدياً أو بتفكير مسبق لفائدة الكائن الحي أو بقائه. أما في تفسير كوبنهاغن، فإن الأحداث الكمومية حوادث بالصدفة بمعنى أنها «غير مسبَّبة»، أو على الأقل «غير محددة».

(٢) وبما أننا نقوم بتعميمات صعبة حول تعامل الكتاب المدرسي للثورة الكوبرنيكية، فإنه من العدل توثيقها؛ أي: كتاب مدرسي ـ تقريباً ـ في علم الفلك التمهيدي سيكون كافياً. خذ على سبيل المثال:
Chris Impey and William K. Hartmann, *The Universe Revealed* (Pacific Grove, Cal.: Brooks/Cole, 2000).
يؤطر الفصل الثالث من «الثورة الكوبرنيكية» الموضوع بدءاً بمحاكمة غاليليو. يعرض المؤلفون الموضوع ويشرحونه بهذه الطريقة (٥٣): «إن الثورة الكوبرنيكية واحدة من أهم الأفكار في التاريخ؛ لأنها تشير إلى أننا جزء من محيط كوني كبير، ولسنا سادةَ الطبيعة الذين يعيشون في عاصمة الكون». لا أحد ممن فهم تاريخ الأفكار في الغرب سيتكلم عن الأرض في علم الكونيات القديم بوصفها عاصمة الكون». وفي الوقت نفسه، فإن الكتب الفلكية أقل غموضاً قليلاً من الكتب في جعل هذه النقطة خارج الإطار (العلمي). انظر على سبيل المثال: هذه الدعوى المحرجة التي كتبها:
Douglas J. Futuyma, in *Science on Trial* (New York: Pantheon Books, 1983), 195-196.
«لقد كانت نظرية مركزية الأرض عقيدة لاهوتية وضعها قديس كليمنت الإسكندري وديونيسيوس الأريوباجيتي، ولاهوتي القرن الثاني عشر بيتر لومبارد، والقديس توما الأكويني... لم تكن نظرية مركزية الأرض مثبتة؛ بل كانت غير قابلة للاختبار. انظر أيضاً:
Francisco Ayala's description of Darwinism as the completion of the Copernican Revolution in *Creative Evolution*, John H. Campbell and J. William Schopf, eds. (Boston: Jones and Bartlett, 1994), 2-5.
ستكون هذه الادعاءات محرجة لكل مؤرخ تقريباً في تاريخ العلوم.

يمنح الشخص المعاصر الامتياز لمركز أرضنا بوصفه المكان الأمثل الذي يمكن أن تكون فيه. إن مركزية الأرض (*geocentrism*) لم تستلزم مركزية الإنسان (*anthropocentrism*) كما يقول **دنيس دانيلسون** (Dennis Danielson):

«إن كليشه الكوبرنيكي العظيم تقوم على أساس معادلة غير نقدية لمركزية الأرض ومركزية الإنسان»(١) إن رفض أي منهما أو كليهما لم يُعد دحضاً تلقائيّاً لوجود الغاية أو التصميم في الطبيعة. تترك القصة الشائعة الانطباع الكاذب أن **كوبرنيكس** أحدث اتجاهاً، بحيث تؤدي عملية إزالة الأرض من «مركز» الكون في النهاية، منطقيّاً وبشكل حتمي إلى تأسيس علمي بعدم أهميتنا. فحوّلتْ على حين غرة سلسلة من الاكتشافات التجريبية التي كانت لها آثار ميتافيزيقية مبهمة إلى القصة المحورية للمذهب المادي.

ومع ذلك، هناك قضيتان مهمتان تستتران في الجوار، وهما مسألة التصميم والغائية في الطبيعة، وفرادة (uniqueness) وأهمية الأرض وسكانها الأذكياء. ومع أنه يبدو أن هاتين القضيتين مستقلتان، فهما عادة جزء من صفقة واحدة. والتعبير الغربي الرئيسي لها هو التصوير الإنجيلي للإنسان، الذي خُلِق مع السماوات والأرض والحيوانات، وشُكِّل من تراب الأرض، ومع ذلك يكون موهوباً لإدراك السماوات العلوية المرصعة بالنجوم خاصة، والقانون الأخلاقي الذي يتخللها (على حد تعبير إيمانويل كانط). فالإنسان مخلوق في الصورة الإلٰهية، حر في أن يختار الخير أو أن يرفضه. وتضيف المسيحية إلى مذهب التجسد هذا؛ حيث يصبح الإلٰه نفسه إنساناً من أجل التوفيق بين الإنسان والخلق كله لنفسه. وبالطبع، فإن الإيمان بأن البشرية تلعب دوراً في غاية كونية معينة لا ينحصر في المسيحية أو الكتاب المقدس بشكل خاص؛ بل إنه ليس قاصراً حتى على الدّيانات السّماوية (religions of the book) الرّئيسية - المسيحية واليهودية والإسلام.

---

(١) Dennis R. Danielson, "The Great Copernican Cliché", *American Journal of Physics*69 no. 10 (October 2001): 1029.

يقوم هذا المقال الممتاز بعمل بارع في طرح الأساطير المحيطة بالثورة الكوبرنيكية على الهامش.

فعلى سبيل المثال، جادل الفيلسوف الرّوماني ورجل الدّولة **شيشرون** (Cicero)، على نحو أشدّ قوّة من معظم المسيحيين واللّاهوتيين، أنّه بما أنّ الآلهة والإنسان يشتركان في منحة العقل، ويدركان مرور الأزمان والمواسم، فإنّ «كلّ ما يوجد في هذا الكون خلق ليكون معدّاً لنا نحن البشر بغرض الاستمتاع»[١] إذا قمنا بإلغاء الاختلافات اللّاهوتية، فإنّ ما يبقى هو القناعة المشتركة بأنّ الكون مصمّم، وأنّ مكاننا في الكون تغمره الغاية، وأنّه سواء كنّا الكائنات المركزية أم لا، فإنّنا نلعب دوراً في دراما كونية كبرى[٢]

ومع ذلك، فإن للمرء أن يجادل أنّ سلسلة الأفكار التي بدأها **كوبرنيكس** سلسلة ملهمة. لننسى الأساطير وكلّ تشويش حول «مركز الكون». إنّه من غير المحتمل أن تكون اكتشافات الكواكب الأخرى، التي من ضمنها الأرض، ومشهد الأقمار التي تطوف العديد من تلك الكواكب، وإدراك أن الشّمس واحدة من مئات المليارات من النّجوم في درب التّبّانة، التي هي واحدة من مئات المليارات من المجرّات في كون كبير وقديم جدّاً؛ عديمة الأهمية. إنّ شيئاً في هذه الصّورة الكلية وإن خلت من القوالب النّمطية

---

(١) من The Nature of the Gods, quoted in Danielson, 56. في سفر التكوين، يلاحظ هانز بلومنبرغ أنه، بخلاف رواقية شيشرون، لم يكن العالم مصنوعاً بشكل قطعي للإنسان بالنسبة لعلم اللاهوت المسيحي؛ بل إن الله قد أخضعه إليه (١٧٤). هناك شيء من السخرية في حقيقة أن بعض شخصيات التنوير قد جعلت «من الإنسان مقياس كل شيء». وفي ذلك، أعلوا من شأن الإنسان أكثر بكثير مما فعلت المسيحية إطلاقاً في القرون الوسطى. ثم، في حالة صارخة من فقدان الذاكرة والإسقاط التاريخيين، بدأوا في تخليد أسطورة الصورة القديمة والقروسطية للعالم التي أعلت من شأن الإنسان بشكل خاطئ فوق منزلته الحقيقية. ومع ذلك، فإن فكّ هذه الورطة المعقدة سيأخذنا بعيداً جدّاً عن موضوعنا.

(٢) حتى أولئك الذين ينفرون من هذا الموضوع يعترفون بشيوعه. يحدد دانيال كوين (Daniel Quinn) هذا بوصفه الوهم الأساسي الذي نقوله جميعاً لأنفسنا؛ أي: «لقد صُنع العالم لأجل الإنسان، وخُلق الإنسان لحكمه والاستيلاء عليه». ويجادل أن سرديات الخلق في الكتاب المقدس تضرب مثالاً على هذه النظرة الأعم. في:

Ishmael (New York: Bantam, 1992), 74

انظر أيضاً:

Daniel Quinn, *The Story of B* (New York: Bantam, 1996), 129.

الكاذبة، يمكن أن يتركنا مع شعور قاتل بالعزلة وعدم الأهمية. وهو لا ينفي فكرة أنّنا نحتلّ مكاناً خاصّاً في الكون، ولكن يبدو أنه يحسب ضده.

في منتصف القرن الماضي، حول عالم الفلك **هارلو شابلي** (Harlow Shapley) هذا القلق الميتافيزيقي إلى قاعدة علمية، انتشرت في وقت لاحق مع **كارل ساجان**. وأطلق **شابلي** على هذه القاعدة، لأسباب واضحة لكن غير دقيقة من النّاحية التّاريخية، اسمَ المبدأ الكوبرنيكي. أمّا الآن فهو عادة ما يطلق عليه، مبدأ العادية (Principle of Mediocrity).

الفصل الثاني عشر

المبدأ الكوبرنيكي

بسبب انعكاس أشعّة الشمس.. تبدو الأرض مستقرّة في شعاع من الضوء، كما لو أنّ هناك بعض الأهمية الخاصّة لهذا العالم الصّغير. لكنّه مجرّد مصادفة بسبب الهندسة والبصريات.. موضعنا وتصوّرنا لأهمّيتنا، وهذا الوهم أنّنا نحتل موضعاً متميّزاً في الكون، يقع في تَحدٍّ مع نقطة الضّوء الشّاحب هذه. إنّ كوكبنا بقعة صغيرة ووحيدة في الظّلام الكوني المحيط الضّخم. ونحن في ظلمتنا هذه، ووسط هذا الامتداد الرّحب، ليس هناك ما يوحي بأنّ يد المساعدة ستأتي من مكان آخر لإنقاذنا من أنفسنا.

ـ كارل ساجان[1]

ادعاءات ميتافيزيقية:

لا يخلو ميدان من المخاطر. يمكن لعمال مناجم الفحم، أن يصابوا بأمراض رئوية واضطرابات عاطفية تتعلق بنقص ضوء الشمس إن لم يكونوا حذرين. ويمكن أن يصاب الناسخون بلوحة المفاتيح كذلك، بمتلازمة النّفق الرسغي (carpal tunnel syndrome) إذا لم يأخذوا فواصل متواترة للاستراحة. ويمكن أن تكون السّير المهنية للعاملين في رشّ المحاصيل قصيرة إذا سمحوا لأذهانهم بالتّشتّت. أما المهن الأخرى فمخاطرها أقل وضوحاً. على سبيل المثال، يخاطر بعض الفيزيائيين المعاصرين، وعلماء الفلك وعلماء الكون، على الرغم من حقيقة أنهم علماء **طبيعيون**، بالانسياق نحو التخمينات بعيدة المدى

(١) Carl Sagan, *Pale Blue Dot* (New York: Ballantine Books, 1994), 7.

والملاحظات المربكة المصحوبة بالافتراضات. لاحظ الفيزيائي الروسي **ليف لانداو** (Lev Landau) مرة أن «غالباً ما يكون علماء الكون على خطأٍ، ولكنهم ليسوا أبداً في شك»[١] إن حديثهم عن هذه القضايا الخفية؛ كالأكوان المتعددة والسفر عبر الزمن قد يستحضر في الذهن عبارة لطيفة لمارك توين من كتابه «الحياة على المسيسيبي» (*Life on the Mississippi*): «هناك شيء رائع بشأن العلم. إن المرء يصيب في جملة من التخمينات من خلال استثمار يسير للواقع».

الخطر يأتي على أرض الواقع حين يتعامل العديد من الفيزيائيين وجميع علماء الفلك وعلماء الكون مع ظواهر ذات نطاق واسع، حتى إنهم كثيراً ما يأخذون بعين الاعتبار تاريخ الكون كله على مدى مليارات السنين. ونتيجة لذلك، ينبغي عليهم استخدام قواعد توجيهية معينة تمتد على نطاق واسع وعام؛ لأن هذه القواعد تتجاوز ما نستطيع أن نلاحظه، وإنه لمن الصعب إن لم يكن من المستحيل تأسيسها؛ لأنها تعتمد على القدرة التفسيرية والحس الجمالي والحدس والتخمين، وهذا لا يعني أنه يجب على العلماء أن يتنصَّلوا من القواعد؛ بل يعني فقط: أنه عليهم أن يكونوا حذرين من مخاطر مهنتهم.

في أوائل القرن العشرين، استخدم **ألبرت آينشتاين** فكرة من هذا القبيل، سميت بـ«**المبدأ الكوني**»، لتوسيع امتداد نظرية النسبية العامة (General Theory of Relativity-GR). وكان المبدأ ببساطة هذا: يجب علينا أن نفترض أن الكون على مستويات كبيرة جداً متجانس ومتماثل ـ أي: أن المادة موزعة بالتساوي وأن الكون يبدو متماثلاً في كل اتجاه ـ، ليس في النسبية العامة ما يستلزم أن الكون يتوافق مع هذا المبدأ، ولكن هذا الأخير سمح **لآينشتاين** بتطبيق نظريته على الكون ككل[٢] ورغم أنه كان بحاجة لمؤهلات مستمرة،

---

(١) مقتبسة في .Dennis Overbye, "In the beginning..., "The New York Times (July 23, 2002): D1

(٢) إن النسبية العامة لا تستلزم ولا تستتبع المبدأ الكوني. في عمله المبكر ذي التأثير الكبير في علم الكونيات، يصوغ ميلن (E. A. Milne) الأمر على هذا النحو:

يُستعمل المبدأ الكوني ببساطة [في عمل ميلن] كتعريف، ومبدأ استبعاد، وعدٌّ لمجموعة الأنظمة التي ينبغي اعتبارها واستبعاد جميع الأنظمة الأخرى. ولا يُستعمل بأي حال من الأحوال «كقانون للطبيعة»، =

فقد أتاح لعلماء الكونيات إنتاج نماذج رياضية للكون تناسب أفضل ملاحظاتنا.

غير أنه وفي وقت ما من القرن العشرين، تم ربط المبدأ الكوني **لآينشتاين** بمهارة مع فكرة مختلفة، **المبدأ الكوبرنيكي**، المعروف أيضاً باسم مبدأ العادية أو مبدأ اللا مبالاة[1] (Principle of Indifference). ينص المبدأ الكوبرنيكي في شكله البسيط على أنه ينبغي لنا أن نفترض أنه لا يوجد شيء خاص أو استثنائي حول زمان أو مكان الأرض في الكون[2] ويتسم هذا التقرير ببعض المعقولية؛ لأنه من المنطقي أن نفترض، في غياب أي معلومات أخرى، أن موقعنا عينة عشوائية من الكون ككل. وأنه سيكون من الواضح أن توجد أماكن عادية أخرى بشكل أكبر[3] وبالإضافة إلى ذلك، فهو لا يحتاج أن يكون مجرد افتراض، بما أنه يمكن للمرء أن يصوغها كفرضية علمية، ويقوم بتنبؤات ثم يقارنها بالأدلة.

= أو مبدأ إلزام يحدد ما يفترض أن يحدث. ومسألة ما إذا كان النظام الذي تم إنشاؤه بحيث يحقق المبدأ الكوني، سيستمر في تحقيقه، هي دوماً محل تحقيق.

Relativity, Gravitation, and World-Structure (Oxford: Clarendon Press, 1935), 20.

(١) في الواقع، ليس للمبدأ الكوني علاقة بكوبرنيك، أو بامتدادٍ للثورة الكوبرنيكية. إنه نادراً ما يُذكر كوبرنيك إن لم يذكر على الإطلاق في كتابات علماء الكون الأوائل للقرن العشرين مثل ميلن.

(٢) غالباً ما يربط الكُتّابُ المعاصرون المبدأ الكوبرنيكي بالمبدأ الكوني، من خلال تعريف الأول من زاوية تجانس الكون. كما يصفها إرنان مَكْمولِن (Ernan McMullin) أنه «من المرجح أن يكون التوزيع المتجانس للمادة واسع النطاق (لأسباب يصعب تحديدها) الحالة الكونية الراهنة». في:

"Indifference Principle and Anthropic Principle in Cosmology," *Studies in the History and Philosophy of Science* , 24 no. 3 (February 1993): 359.

(٣) كذا يجادل ج. ريتشارد غوت الثالث (J. Richard Gott III) في:

"Implications of the Copernican Principle for Our Future Prospects," *Nature* , 363 no. 6427 (May 1993): 315

علَّمتنا الثورة الكوبرنيكية بأنه كان خطأ أن نفترض، دون سبب كاف، أننا نحتل موقعاً متميزاً في الكون. وأظهر داروين من حيث الأصل، بأننا لسنا متميزين عن الأنواع الأخرى. إن موقعنا حول نجم عادي في مجرة عادية في عنقود هائل العادي يستمر في كونه يبدو أقل وأقل تميزاً... المبدأ الكوبرنيكي يعمل لأنه، من بين جميع الأماكن التي يمكن أن يوجد عليها المراقبون الأذكياء، لا يوجد بحسب التعريف إلا قلة من الأماكن المميزة والعديد من الأماكن غير المميزة، ولذلك فإنه من المحتمل أننا نوجد في مكان غير مميز.

كما أن له صلة وثيقة وتعبيراً فلسفيّاً أو ميتافيزيقيّاً أكثر اتّساعاً، ومع ذلك يقول: «نحن لسنا هنا لغاية، كما أنّ الكون ليس مأخوذاً معنا في الاعتبار. إنّ مكانتنا الميتافيزيقية ليست ذات أهمية كما هو الشّأن بالنّسبة لموقعنا الفلكي».
من النّاحية الميتافيزيقية، عادة ما يكون هذا النّفي للغاية مصحوباً بالمادية، وهي وجهة النّظر (الموضوعية) التي تقول: إنّ العالم المادّي هو كل ما هنالك، وأنّه ليس موجوداً لغرض محدد. على الرّغم من أنّه رأي الأقلية في معظم أنحاء التّاريخ الغربي، فقد كان لهذا الرّأي أتباع منذ البداية. بلغ في شكله الأول ما قبل السّقراطي بين الأبيقوريين وغيرهم، إلى قناعة أن النّظام الظّاهري للكون قد انبثق من فوضى لا نهائية وأبدية، بلا غاية أو تصميم. وبالنّظر إلى ما يكفي من الزّمن والفضاء والمادّة، افترض هؤلاء المفكّرون أن ما يمكن أن يحدث، سيحدث. حتّى بدا أن بعض المؤمنين مثل **ديكارت**، يفضلون هذا الرّأي[١] ومع ذلك، فإنّ هذا الرّفض للغائية والتّصميم في الطّبيعة لم يحظ بمرتبة الأغلبية الرّسمية بين النّخبة الثّقافية إلّا في العصر الحديث[٢] والتساؤل حوله علناً يعني ـ عمليّاً ـ: ضمانُ إنهاء محادثات حفلة المشروبات والدعوات.

---

(١) انظر المناقشة في:
McMullin, “Indifference Principle and Anthropic Principle in Cosmology,” 359-367.

(٢) بالطبع يمكن أن تكون أبسط نسخة للمبدأ الكوبرنيكي صحيحة وتكون النسخة الميتافيزيقية كاذبة. فبعد كل شيء، هناك فرق بين النظرة العالمية وصورة العالم. لكننا قد نعترف كذلك بأنه لا يمكن عزلهما بِحَذر. يجب أن يكون هناك تسرب. إذا أثبتت الأدلة بصورة غالبة أن موقعنا غير مميز إطلاقاً، فإننا قد نشك بأننا غير مميزين أيضاً. وفي جميع الأحوال، نادراً ما يُميِّز الممارسون بين هذين المعنيين كما فعلنا.
في أحد الشروح الواضحة للموضوع، يربط إرنان مكمولن (في «مبدأ اللامبالاة») بالفعل، المبدأ الكوبرنيكي برفض الغاية و«الامتياز». حيث يفسر:
ينبغي أن يُفهم المبدأ الكوبرنيكي بِلُغَةِ ما يَرفضُه؛ أي: المعتقدات الغائية القديمة حول تميز الإنسان واحتمال أن مسكنه يمكن أن يكون قد خُصَّ بطريقة معينة، بأن يكون على سبيل المثال في المركز الكوني. في الممارسة العملية، يُختصر المبدأ ببساطة إلى التأكيد على أنه من المحتمل بشكل متكافئ أن تكون الحياة البشرية موجودة في أي منطقة (كبيرة) من الفضاء الكوني أو (أقل، بصورة مُقنعة) في أي نقطة على الخط الزمني الكوني (٣٧٣).

وغالباً ما يقود المبدأ الكوبرنيكي الميتافيزيقي البحث العلمي. لوحده طبعاً، ليس من اللا عقلانية أو «اللا علمية» أن يسمح لاعتقادات المرء وترجيحاته الفلسفية أن تقود بحثه. ولو كان الأمر كذلك لما أمكن للإنسان أن يكون علميّاً؛ لأنه لا مفر منه. إن جميع العلماء بشر يفكرون، وجميع البشر الذين يفكرون لديهم وجهات نظر تُصوِّر لهم كيفية رؤيتهم العالم. وإن أي تعريف للعلم يستبعد العلماء كافة، لا يستحق العناء. ثم إن تاريخ العلم حافل بالأمثلة التي رأينا بعضها في الفصل السابق، والتي أدت فيها ميولات العلماء الفلسفية إلى اكتشافات جديدة. والإشكال لا يكمن عندما يعبر العلماء عن وجهات نظرهم في عملهم العلمي، ولكنه يكمن حينما تعمي وجهات النظر هذه أو تشوه تصورهم للأدلة. هناك فرق مهم بين السماح للمعتقدات الفلسفية بأن توجه البحث أو تقترح خطوط التحقيق، وفرض تلك المعتقدات على الأدلة أو تجاهل الأدلة المضادة تماماً.

إنّ ما يجعل العلم الطّبيعي مثيراً للإعجاب هو أنّه ـ في أفضل حالاته ـ يوفر لنا وسيلة لاختبار صريح لما نعتقده بشأن العالم الطّبيعي؛ حيث يسمح لنا بالتّغاضي عن دوافعنا وآرائنا الشّخصية. والطريقة الوحيدة للقيام بهذا هو أن ننظر في النّتائج التّجريبية لافتراضاتنا. ما الذي يمكن أن يُحسب ضدّ المبدأ الكوبرنيكي مثلاً؟ إنّ الإصرار على أنّ لا شيء يمكن أن يوجد لمجرّد أنه فهم بدهي (commonsense understanding) وأساسي للعلم الحديث يختزل الفرضية العلمية في عقيدة غير قابلة للاختبار. ولحسن الحظ، فإن مثل هذا الرّد غير ضروري. من السّهل أن نتصوّر إلى حد ما أي الملاحظات التي ستحسب ضدّه: إذا كان البشر والأرض أو بيئتنا الحالية أموراً استثنائية للغاية وفريدة من نوعها من نواح هامة، فإنّه سيكون لدينا سبب يدفعنا للشّكّ فيه. إذا كان الكون يبدو مجهّزاً خصّيصاً لوجودنا، أو وجود الحياة، فإنّ هذا يُحسب أيضاً ضدّه. وفي المقابل، فالأدلّة التي تؤكّد على ضعف أهمّية محيطنا، أو الكون نفسه، ستحسب في صالحه.

وهذا يعني: أنه إذا كان شيئاً أكثر من مجرد افتراض اعتباطي، فإننا

سنسعى إلى إجراء اختبارات تجريبية للمبدأ الكوبرنيكي، تماماً كما سعى **آينشتاين** إلى اقتراح وسائل فعالة لاختبار نظريته النسبية العامة. **فآينشتاين** لم يطلب منا أن نفترضه ببساطة. كما لا ينبغي لنا أن نفترض المبدأ الكوبرنيكي دون إجراء اختبارات صارمة؛ وقد تبدو هذه المقاربة أمراً بدهياً، ولكن يميل بعض مؤيديه إلى تحديد المبدأ عن طريق العلم نفسِه. فعلى سبيل المثال، دافع الفلكي **ماريو ليفيو** (Mario Livio) مؤخراً - على نحو صحيح تماماً، في رأينا - عن مفهوم الجمال كمكون أساسي للنّظريات العلمية الجيّدة. حتّى أنّه ذهب لاقتراح «المبدأ الجمالي الكوني» (cosmological aesthetic principle). ومع ذلك، فهو يحدد - في مناورة مذهلة - «الجمال» كتوافق حرفي مع المبدأ الكوبّرنيكي. ويقول: «لتكون النّظرية جميلة، ينبغي أن تقوم على التّماثل والبساطة (الاختزالية)، وعلى المبدأ الكوبرنيكي المعمّم»[١] وتكون النّظرية جميلة بقدر ما تتجنّب أن تأخذنا في الحسبان أو تستلزم أنّنا استثنائيّون بأيّ حال من الأحوال.

ومع ذلك فإنّ مفهوم **ليفيو** غير المعهود للجمال موضعٌ للنّقد، - فلن نناقش حقيقة أنّه في التّاريخ السّائد للجماليات، أنّه لم يحظ العنصران الأوّلان إلّا بتأييد مؤقّت - ومن الواضح أنّه يحاول الكسب بالتّعريف ما يجب كسبه بالأدلّة والحجج. كما أنّه لا يجب على العلماء أن يفترضوا مسبقاً المبدأ الكوبرنيكي، وليس هناك بالتّأكيد أيّ حجة تؤسّسه بناءً على القواعد الأساسية للتّفكير. علاوة على ذلك؛ فمجرد افتراض صحّته ينتهك فضيلة علمية مركزية، وهي الانفتاح على الأدلّة من العالم الطبيعي. ولا يمكننا تحديد طبيعة الواقع من خلال فرض تعريف للعلم، يقيّد الأسئلة التي يمكننا طرحها. ولا يجب علينا أن نحمي افتراضاتنا بشكل اعتباطي مع ألعاب التّعريف. وفي جميع الأحوال، فإنّ القضية الهامّة لا تتعلّق بما إذا كان المبدأ الكوبرنيكي جميلاً أو لا؛ بل بـ**صحّته**. والطّريقة الوحيدة لتحديد هذا هو أن ننظر في تنبّؤاته.

---

(١) Mario Livio, *The Accelerating Universe: Infinite Expansion, the Cosmological Constant, and the Beauty of the Cosmos* (New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000), 263.

تنبؤات المبدأ الكوبرنيكي:

بمجرّد اعتبار المبدأ الكوبرنيكي، يغدو من السّهل إلى حدٍّ ما إنتاج بعض تنبّؤاته العامّة. ومن النّاحية العمليّة، هناك عادة توقّعات غير مؤكّدة عوضاً عن تنبّؤات فعلية. وهذا له تأثير على حمايتها من التّمحيص النّقدي الجاد ـ وهو سبب إضافي لجعلها بينة.

ونحن جميعاً نسلّم ببعض تنبّؤاته الضّمنية. فنحن نعتقد على سبيل المثال، أنّ نفس قوانين الفيزياء والكيمياء تحكم كلاً من السّماوات والأرض. ومن المعقول أن نخلص إلى أن قوانين الطّبيعة موحّدة، بحيث لا يختلف قانون الجاذبية على الأرض والقمر، أو على الاثنين. وإضافة لذلك، هناك الكثير من النّجوم والمجرّات، فيمكننا أن نتوقّع أن العديد من تلك النّجوم تتوفّر على كواكب تدور حولها. وبالنّظر إلى هذا على الأقل، فالأرض إذن ليست فريدة من نوعها. وهذا هو الإرث الرّاسخ للثّورة الكوبرنيكية. إذا توقّفنا هنا، قد يبدو المبدأ الكوبرنيكي مُؤَسّساً بإحكام. لكن عند دراسته عن قرب، يتّضح أن العديد من التنبّؤات الهامّة كاذبة أو على الأقل مشكوك فيها.

دعونا نعتبر المبدأ الكوبرنيكي في نطاق اختصاصه الطبيعي: علم الفلك. وهو يتجلّى كذلك في علم الكونيات والفيزياء وعلم الأحياء. لكنّنا سنحتفظ بتلك القضايا للفصول التّالية.

بما أنّ علم الفلك يستوعب الأجسام الصغيرة مثل النّيازك والكواكب المنفردة، والكبيرة كتجمّعات المجرّات، ولّد المبدأ الكوبرنيكي معظم التنبّؤات في هذا المجال. دعونا ندقّق النّظر في أهمّها. وسنبدأ بأقدمها:

التنبؤ الأول: إن الأرض، وإن كانت تتمتع بعدد من الخصائص التي تسمح بوجود الحياة، ليست استثنائية في مناسبتها للحياة في نظامنا الشمسي. فربما تستضيف أيضاً الكواكب الأخرى نظام الحياة.

كان هذا أحد التنبؤات الأولى لعلماء الفلك المعاصرين. لما كانت الأدلة المتوفرة قليلة جدّاً، توقع العديد من العلماء إيجاد حياة ذكية على

الكواكب الأخرى في نظامنا الشمسي. وافترض **كبلر** أن البنى على القمر قد أنشأتها كائنات ذكية. في الآونة الأخيرة، وصف **جيوفاني شياباريلي** (1835-1910) (Giovanni Schiaparelli) «القنوات» (channels) المريخية، التي أوحت إلى **بيرسيفال لويل** (1855-1916) (Percival Lowell) وجود حضارة على المريخ. أسس **لويل** - بواسطة ترجمته أو سوء ترجمته لقنوات **شياباريلي** بـ«المجاري» (canals)، مرصده الخاص في فلاجستاف، أريزونا، وخصص وقته لجمع الأدلة لدعم ما يعتقده.

إن رؤية **لويل** مهمة بسبب تأثيره ولأنه ربط بشكل صريح فكرة الحياة في المريخ بمعارضته للمركزية الإنسانية، مجسِّداً روح المبدأ الكوبرنيكي: «إنّ حقيقة أنّنا جوهر ومجموع قدرات الكون لَشيءٌ لا يعقل على نحو يجعله هزليّاً.. إنّ [المرء] لا يفتأ يُكوِّن تصوراً على نحو غير دقيق عمّا يحدث في مكان آخر، بدقّة رياضية يقينية، في بعض أركان الكون»[(١)] وفقاً لـ**كارل ساجان**، فحماسة **لويل** «أضاءت السنوات الثماني التي تلته، ونُقلت في النهاية إلى الجيل الحالي من الفلكيين»[(٢)]

ولكن بعثات مارينر (Mariner)، وفايكنغ (Viking)، وسوجورنر (Sojourner) إلى المريخ كشفت عن بيئة قاحلة وغير مضيافة، فأطفأت الحماس بشأن الحضارات المريخية. ومع ذلك، فإن الاعتقاد بأن المريخ كان

---

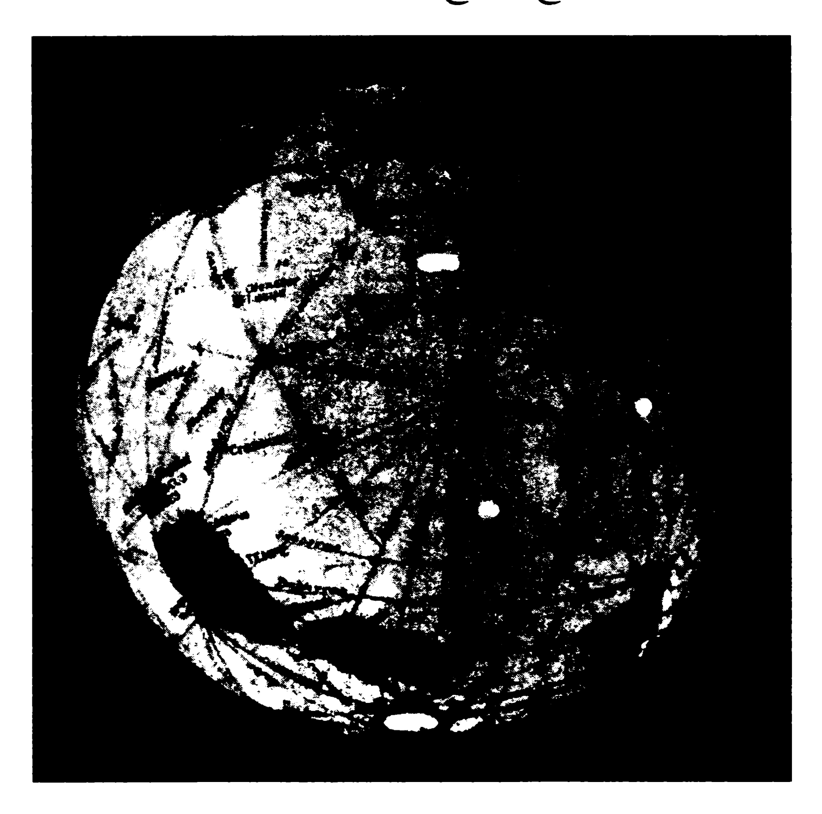
(١) من: Percival Lowell, Mars (Boston, 1895)، ومقتطف في: Dennis Danielson, The Book of the Cosmos (Cambridge: Perseus Pub., Helix Books, 2000), 341.

كان يُقتصر التفكر في الحياة الفضائية الخارجية في النظام الشمسي عادةً على الكواكب الأخرى، على الرغم من أن وليام هيرشيل (William Herschel) اعتقد أن الشمس نفسها قد تكون صالحة للحياة. انظر:
Steven Kawaler and J. Veverka, "The Habitable Sun: One of William Herschel's Stranger Ideas," *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 75 no. 1 (1981): 46-55.

نميل اليوم إلى أن نعتبر هذه الفكرة كفكرة غريبة، لكن يجب أن نلاحظ أنها نابعة ظاهريّاً من المبدأ الكوبرنيكي.

(٢) في:
John Noble Wilford, Mars Beckons (New York: Knopf, 1990), 35, quoted in Danielson, *The Book of the Cosmos*, 341.

يؤوي حياة ما زال حيّاً في الآونة الأخيرة مع إعلان حماسي لاكتشاف بلورات الماغنتيت المجهري في نيزك المريخ ALH84001 واكتشاف حقول المياه الجليدية الشاسعة تحت سطح المريخ.



● **الشكل ١٢،١: رسومات بيرسيفال لويل لـ«قنوات» المريخ و«واحاته» من المريخ كمسكن الحياة (the Abode of Life) (١٩٠٨م). مع الدخول في عصر الفضاء، أصبح واضحاً أن قنوات لويل كانت مجموعة من الانطباعات البصرية، والتفكير المعلل بالآمال، والبنيات التي تحدث بشكل طبيعي. تدرك الأغلبية الآن أن الكواكب الأخرى في النظام الشمسي ليست مرشحة للحياة. ومع ذلك، وكما ناقشنا في الفصل الخامس، فإن توقع وجود الحياة خارج كوكب الأرض في نظامنا الشمسي لم يختف بعد؛ بل توجهت نحو بعض الأقمار النائية التي تدور حول كوكب المشتري وزحل، مثل أوروبا، حيث يمكن أن توجد مياه سائلة تحت السطح.**

على الرغم من أننا لا نتوفر على أي دليل على الحياة من أي نوع في الأقاصي الخارجية للنظام الشمسي وأن لا أحد يتوقع أن توجد حياة ذكية هناك، فإن التكهنات تتزايد بشأن نوع من المخلوقات الغريبة التي قد تسكن الشقوق الجليدية العميقة للقمر أوروبا.

إن هذا التفاؤل يتجاهل ألوف الطرائق التي تكون فيها الأرض مناسبة بشكل استثنائي تماماً لوجود الحياة، واستمراريتها كما فصّلنا من الفصل الثاني إلى الفصل السادس. لا يوجد مكان آخر في نظامنا الشمسي يقترب من توفير الخصائص الفلكية والجيوفيزيائية التي تجعل الأرض صالحة للحياة. وإن وُجد، فإن الكواكب الأخرى تظهر مدى ضيق شروط صلاحية الحياة، حتى بالنسبة للكواكب المأهولة في النظام الشمسي.

إن النمط الأساسي يستحق التكرار؛ لأنه غالباً ما يتم تناسيه أو تجاهله. من القرن السابع عشر إلى القرن العشرين، توقع كثيرون حياة متفوقة ذكية على القمر والمريخ والكواكب الأخرى في النظام الشمسي. وتطلب هذا التوقع أدلة مضادة ومباشرة لإسقاطه. الآن، مع بداية القرن الحادي والعشرين، وعلى الرغم من مداهمات العلاقات العامة من المتحمسين بشأن وجود الحياة على المريخ، انتقل البحث من الكواكب إلى بعض الأقمار المظلمة القصِيّة. وفي الوقت نفسه، انخفض مستوى الطموحات بدرجة كبيرة. لا أحد يتوقع اليوم أن يجد حياة ذكية أو متقدمة في مكان آخر من النظام الشمسي. يجادل أنصار الإي. تي. (E.T. the Extra-Terrestrial) الآن أن إيجاد المكافئ الأوروبي لقالب الوحل سيكون على نفس القدر من الأهمية مقابل إيجاد سكان مريخيون أذكياء.

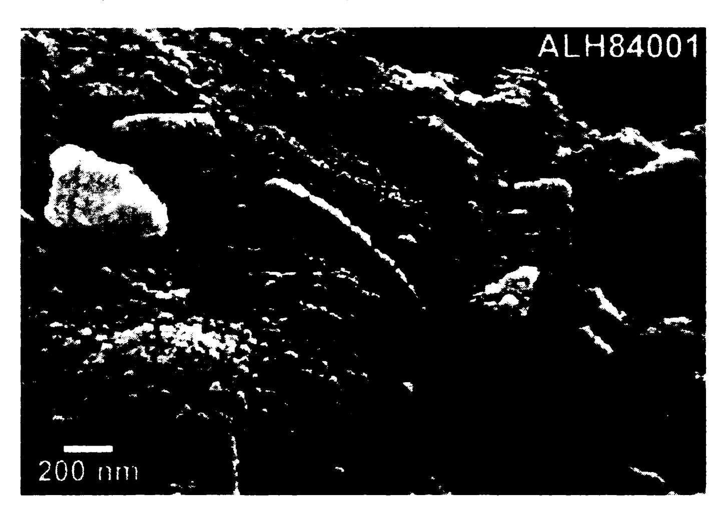
أضف إلى هذا النمط دليل الفصل السادس: فبعض الكواكب التي قيل: إنها تقلل من مكانة الأرض تبدو الآن حارسة لصلاحيتها للحياة. وأخيراً، تذكر بأن هذه الخصائص النادرة التي نوقشت من الفصل الثاني إلى الفصل السادس كانت حاسمة في مجموعة متنوعة من الاكتشافات العلمية هنا على الأرض، بدءاً من طبيعة الجاذبية إلى البنية الداخلية لكوكبنا التي كشف عنها النشاط الزلزالي. ومن المؤكد أن هذه الحقائق عن تفوق الأرض سواء بالنسبة للحياة أو المراقبة يجب أن يعتبر تناقضاً صارخاً مع المبدأ الكوبرنيكي.

دعونا ننتقل إلى تنبؤ آخر، مع أنه ينطبق على نجمنا المضيف، في هذه الحالة:

التنبؤ الثاني: إن شمسنا نجم عادي إلى حدٍّ ما.

كثيراً ما تكرر هذا الادعاء من قبل مؤلفي الكتب المدرسية وكتاب العلوم حتى أصبح عقيدة راسخة. وهذا بالطبع ليس نتيجة انخداع واعٍ؛ بل تحت تأثير قوة المبدأ الكوبرنيكي لصياغة التوقعات. ونحن غالباً ما نرى ما نتوقع أن نراه. ومع ذلك، وكما ناقشنا في الفصل السابع، نعلم الآن أن شمسنا تتوفر على عدد من الخصائص المميزة والمهمة، التي تسمح بالحياة والتي تساهم في آن واحد في قابليتها للقياس. وهي تشمل السطوع، والمتغيرية، والمعدنية، والمدار المجرّي. لذلك فإن شمسنا لا تناسب هذا التنبؤ بشكل جيد. حتى بين أقلية النجوم في نفس الفئة كالشمس، يبدو أنه استثنائي من عدة أوجه مهمة، وهكذا يبدو مضاداً للتوقعات المدعمة من طرف المبدأ الكوبرنيكي.

وربما يصيب تنبؤ المبدأ الكوبرنيكي عن نظامنا الشمسي، وربما يخفق.



● **الشكل ١٢,٢**: صورة مجهرية إلكترونية لبنية على شكل سجق في المعادن الكربونية في النيزك المريخي الوازن ٤,٥ رطل، ألين هيلز ٨٤٠٠١ (**ALH84001**). كان يشار إلى هذه الصورة وغيرها من البيانات المتعلقة ب **ALH84001** في عام ١٩٩٦م كدليل على الحياة القديمة على سطح المريخ. واليوم لا تزال هذه الأدلة مثاراً للجدل إلى حد كبير.

التنبّؤ الثالث: إنّ نظامنا الشّمسي نظام عادي. ويجب أن نتطلّع إلى أنظمة شمسيّة أخرى لإجراء المقارنة.

كان هذا الاعتقاد شائعاً جدّاً في العقود القليلة الماضية حتى ألهمت في

الآونة الأخيرة برامج بحثيّة كاملة في علم الفلك وعلم الكواكب. قبل عام ١٩٩٥م، عندما اكتشف علماء الفلك السويسريون **ميشيل مايور** (Michel Mayor) و**ديدييه كيلوز** (Didier Queloz) أوّل كوكب يدور حول نجم يشبه الشّمس، ٥١ بيغاسي (٥١ Pegasi)، في كوكبة خريف الفرس الأعظم (Pegasus)، أنشأ العديد من المُنظِّرين نماذج على الكمبيوتر «تنبّأت» بأن الأنظمة الشمسية الأخرى ستكون مماثلة تقريباً لنظامنا. وتوقّعوا خاصّة أنّ الكواكب الأرضيّة الصّغيرة ستكون ذات مدارات دائريّة تقريباً بالقرب من نجمها المضيف، وكواكب غازيّة عمالقة بعيدة عنه، ذات مدارات دائريّة تقريباً أيضاً.

ونحن نعلم الآن أن هذا غير صحيح. فالكوكب ٥١ بيغاسي ـ (51 Pegasi B غازي عملاق تُقدَّر كتلته بنصف كتلة كوكب المشتري تقريباً، يدور حول نجمه المضيف كلّ ٤,٢ أيّام، على بعد ثُمُن المسافة التي تفصل عطارد عن شمسنا. وهذا ليس ما توقّعه المنظّرون. وبعد الاكتشاف، علق **مايور**: «كان غريباً جدّاً أن ننظر إلى سلوك الناس وهم يواجهون شيئاً يتعارض تماماً مع النظرية». ووفقاً **لمايور**، فحتى بعض علماء الفلك قالوا أشياء مثل: «اوه، هذا ليس كوكباً؛ لأنه لا يمكنك أن تشكل كواكب شبيهة بالمشتري قرب نجومها»[(١)] ومنذ ذلك الحين، استمرت اكتشافات الكواكب خارج المجموعة الشمسية في معارضة الحكمة التقليدية. خاصة أن معظمها ذات مدارات غريبة الأطوار للغاية، على النقيض تماماً من الكواكب في نظامنا الشمسي. وبطبيعة الحال أننا ما زلنا لا نتوفر على ما يكفي من البيانات الموثوقة للقول بمدى استثنائية نظامنا الشمسي. بسبب الوقت الذي يتطلبه أسلوب البحث وطبيعة سرعته الشعاعية، فإن الكشف عن الكواكب خارج المجموعة الشمسية ينحاز نحو الأنظمة التي تضم كواكب ضخمة ذات فترات مدارية قصيرة نسبيّاً.

---

(١) Ken Croswell, *Planet Quest: The Epic Discovery of Alien Solar Systems* (New York: The Free Press, 1998), 185-186.

نشر ماير (Mayor) وكيلوز (Queloz) اكتشافهما في:
"A Jupiter Mass Companion to a Solar-Type Star," *Nature*, (1995), 355-359.



● **الشكل ١٢,٣: رسم إيضاحي لسكان المريخ لمقالة غير خياليّة كتبها ويلز (H. G. Wells)، بعنوان «الأشياء التي تعيش على المريخ» (The Things That Live on Mars)، في مجلة كوزموبوليتان (Cosmopolitan)، مارس ١٩٠٨م. ظهرت المقالة خلال الخلاف القائم حول قنوات لويل المزعومة على سطح المرّيخ، حينما كان يُعتقد بشكل واسع أن المريخ كان موطناً للحياة الذكية. في القرن التالي، قلّت التوقّعات تدريجيّاً مع معرفتنا المزيد عن الكوكب الأحمر.**

للكشف عن نظير حقيقي للمشتري حول نجم يشبه الشمس، ينبغي على علماء الفلك أن يقوموا برصده لمدة اثني عشر عاماً (وهي الفترة الزمنية الخاصة بمدار المشتري). لم تصل البيانات المطلوبة إلى قاعدة هذا الزمن حتى الآن. وفي السنوات القليلة القادمة، سيبدأ علماء الفلك في الحصول على تقدير تقريبي لنسبة الأنظمة الكوكبية التي تشبه نظامنا. يأمل المهتمون

بمشروع (البحث عن ذكاء خارج الأرض ـ SETI: Search for Extraterrestrial Intelligence) أن هذه البيانات «الصامتة» ستثبت المبدأ الكوبرنيكي. ومع ذلك فإن ما يبدو على الأرجح في الوقت الراهن، أن نظامنا الشمسي سيتحول إلى نظام مميز للغاية فيما يتعلق بصلاحيته للحياة.

وإذا تبين أن هذا هو الحال؛ فإنه لا يزال في جعبة أنصار المبدأ الكوبرنيكي تنبؤاً احتياطيّاً:

التنبؤ الرابع: حتى لو كان نظامنا الشمسي غير عادي، فإن هناك الكثير من الهيئات الكوكبية التي تتلاءم مع وجود الكائنات البيولوجية. فالمتغيرات مثل عدد وأنواع الكواكب والأقمار هي في الأساس طوارئ لا تتعلق بشكل كبير بوجود الحياة في نظام كوكبي.

إن لهذا الاقتراح صفة محببة يستحيل تكذيبها. ذلك أنه من الممكن دائماً أن يوجد كائن غير معروف في نظام غريب وغابر. والأهم من ذلك أنه يتيح سبيلاً للهروب إن تبين أن التنبؤ السابق كاذب، فيجنب المبدأ الكوبرنيكي الوقوع في حرج التناقض من ناحية أخرى.

وعلى كل حال، فإن الأدلة المعروضة من الفصل الأول إلى الفصل السادس تقف ضده بشدة. فوجود قمر كبير، في وضع مناسب من المدارات الكوكبية الدائرية، من حزام الكويكبات يحتل موضعاً مناسباً ويتميز بخصائص مناسبة، من الهجوم المبكر لهذه الكويكبات على الأرض، من الكواكب الغازية العملاقة النائية التي تكتسح النظام الشمسي ومن المذنبات المُعَقِّمة اللاحقة؛ كل هذه الأمور وزيادة ذات أهمية كبيرة لوجود حياة معقدة على كوكبنا.

والعجيب أنّه على الرغم من الادّعاءات الإيجابية المقدّمة لصالح المبدأ الكوبرنيكي، ربّما بطأ هذا التّنبؤ في الواقع من تقدّم العلم لمّا دفع الفلكيّين إلى التّقليل من أهمّية التّفاصيل غير المهمّة بالنّسبة للحياة كالمذنّبات والكويكبات والأقمار والكواكب النّائية. وبالمثل، ربّما ثبّط الفلكيين عن إعطاء مفهوم النطاق الصالح للحياة حقّها. لو أخذ الفلكيون هذه الأمور بشكل أكثر جدّية سابقاً، لقلّ جهدهم المبذول في بحوثهم الوهمية عن حياة خارج

كوكب الأرض في نظامنا الشّمسي والتي اتّضح أنّها لم تكن إلّا مطاردات غير مجدية، وركّزوا بدلاً من ذلك على دور التّكوين المحدّد لنظامنا الشّمسي لأجل قابلية الحياة على الأرض. وهذا موضوع لم يبدأ العلماء في استكشافه حتّى الآن؛ فلا ينبغي أن يعيقه الافتراض بأنّ مميّزات نظامنا الشّمسي الخاصّة غير مهمّة للحياة الأرضية.

ولا أن يعيقه تنبؤ آخر مشكوك فيه للمبدأ الكوبرنيكي:

التنبؤ الخامس: إن موقع نظامنا الشمسي في درب التبانة غير ذي أهمية نسبيّاً.

يوحي هذا بالاعتقاد أن جميع أو معظم النجوم، بغض النظر عن موقعها، مضيفات مستقبلة للكواكب الصالحة للحياة، بما في ذلك مثلاً، النجوم الثنائية والنجوم الموجودة في التجمعات الكروية أو بالقرب من مركز المجرة. في عام ١٩٧٤م، قام **فرانك دريك** (Frank Drake) باستخدام مرصد أريسيبو الراديوي في بورتوريكو، وغيره من علماء الفلك بتوجيه رسالة لاسلكية إلى العنقود الكروي M13، عنقود هيركليز العظيم[(١)] ومع حوالي ٣٠٠,٠٠٠ نجم قديم محتشد بشكل مكثف، كان من غير المحتمل أن يكون هذا مكاناً للكواكب بشكل عام، ناهيك عن تلك التي تصلح للحياة. فمن الواضح أن **دريك** وزملاءه كانوا يعتمدون تنبؤ المبدأ الكوبرنيكي هذا، وإن لم يعلنوا عن ذلك صراحة. ولهذا السبب وجهوا مرصدهم صوب هدف صغير مع حشد من النجوم، لزيادة فرص الاتصال بجنس ذكي. لكن الأمر لا يتعلق بعدد النجوم إذا كانت النجوم لا تلائم الحياة.

---

(١) ورد العمل في الأصل في:

"The Arecibo Message of November, 1974," *Icarus*, 26 (1975): 462-466.

من تأليف:

"The staff at the National Astronomy and Ionosphere Center".

والذي ضم كارل ساجان وفرانك دريك. يبدو أن الإشارة نُقِلت كجزء من الاحتفالات لتكريس مرصد أَرِسِيبُو المرقّى في ١٦ نوفمبر ١٩٧٤م. انظر المناقشة في:

Steven J. Dick, *Life on Other Worlds: The 20th Century Extraterrestrial Life Debate* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 217.

حينما نتحدث عن تاريخ علم الفلك المتعلق بدرب التبانة، فإن الكتّاب غالباً ما يسردون قصة موازية للقوالب النمطية الكوبرنيكية التي انتقدناها في الفصل الحادي عشر. بسبب سوء التقدير الذي يرجع في جزء منه إلى الغبار الكوني الذي يحجب الضوء الصادر من النجوم البعيدة، في السابق وضع عالما الفلك المتعلقان بدرب التبانة **وليام هيرشيل وجاكوبوس كابتن** نظامنا الشمسي بالقرب من مركز المجرة. ومع ذلك، قام **هارلو شابلي** لاحقاً مستعيناً بالأدلة المستمدة من العناقيد الكروية، بتحديد أن موقعنا يبعد في الواقع بآلاف السنوات الضوئية من المركز وقرب ذراع حلزونية[1] كما نتوقع، فإن أنصار المبدأ الكوبرنيكي ينظرون إلى هذا كإثبات آخر لنظريتهم. وكما يقول أحد كتاب العلوم: «تماماً كما أزال **كوبرنيكس** الأرض من مركز النظام الشمسي، ربما سحب **شابلي** الشمس من مركز درب التبانة ووضعها في المكافئ السماوي للضواحي»[2] إن الموازاة الحرفية قد تكون جيدة جدّاً بحيث تدافع عن نفسها، ولكن الصورة خادعة مجدداً. وكما نعلم الآن، فمركز المجرة؛ كجحيم دانتي، هو آخر مكان نرغب الوجود فيه.

يقع نظامنا الشمسي ضمن ما قد يكون نطاقاً ضيقاً جدّاً صالحاً للحياة، وبعيداً عن المناطق المغْبرَّة والمناطق الملوثة بالضوء، مما يسمح برؤية شاملة ممتازة لكل من النجوم القريبة والكون البعيد.

ولدى المبدأ الكوبرنيكي أيضاً، شيَء ما لقوله بشأن مجرتنا ككل.

التنبؤ السادس: إن مجرتنا ليست استثنائية بشكل خاص أو مهمة. كان يمكن للحياة أن توجد ببساطة في المجرات القديمة والصغيرة والإهليلجية وغير المنتظمة.

في دراسة حديثة لحجم درب التبانة، جادل علماء الفلك **غودوين** (S. P.

(١) بالغ شابلي في تقدير حجم درب التبانة فألقى بنا ٦٥,٠٠٠ سنة ضوئية إلى الخارج. يقدر علماء الفلك اليوم أننا نبعد بـ٢٧,٠٠٠ سنة ضوئية تقريباً عن مركز المجرة.

(٢) Ken Croswell, *The Alchemy of the Heavens* (Oxford: Oxford University Press, 1995), 24.

وكروسويل ماهر جدّاً عادة في تحدي الحكمة التقليدية في مثل هذه الأمور، وهو لا يستخلص أي استنتاجات من اكتشاف شابلي لصالح المبدأ الكوبرنيكي.

(Goodwin) وغريبين (J. Gribbin) وهندري (M. A. Hendry) بأن قطر مجرتنا أصغر قليلاً من أقرب جار كبير لها، أندروميدا (M31)، وهي على الأغلب مجرة حلزونية متوسطة الحجم». وخلصوا إلى أن نتائجهم تقدم مزيداً من الدعم لمبدأ «العادية الأرضية» (principle of terrestrial mediocrity) (الملقب أيضاً بالمبدأ الكوبرنيكي)، الذي يقصدون به أنه لا يوجد شيء خاص حول أين ومتى نعيش ومن أين نلاحظ. يبدو أننا نعيش على كوكب عادي يدور حول نجم عادي، ومن الطبيعي إذن أن نستنتج أن النظام الشمسي موجود في مجرة عادية»[١] لكن يمكن للمرء أن يتساءل فقط عن أهمية حجم المجرة عند التماس الدعم لهذا المبدأ. كما رأينا، فحقيقة أن بعض النجوم أكبر حجماً من الشمس بالكاد يحسب ضد خصائصها الصديقة للحياة. وبالمثل، عندما ننظر في خصائص مجرة حلزونية الأكثر ملائمة لصلاحيتها للحياة، كالكتلة والسطوع ـ التي ترتبط بالمحتوى المعدني ـ نجد أن درب التبانة استثنائية. فقد عرف علماء الفلك منذ أوائل الثمانينات أن مجرة درب التبانة ومجرات أندروميدا تتماثلان من حيث السطوع[٢]، وتشير البحوث الأخيرة إلى أن كتلة درب التبانة

---

(١) S. P. Goodwin, J. Gribbin, and M.A. Hendry, "The Relative Size of the Milky Way," *The Observatory* (18 August 1998): 201-207.

هذه الورقة تم تصويرها من منطق «كوبرنيكي». في الفقرة الافتتاحية من المقدمة، يقولون:

قبل تأكيد هابل أن العديد من «السدم» هي، في الواقع، مجرات خارجية، كان يعتقد كثيرون أن درب التبانة هي الكون كله. وحتى بعد تحديد المجرات الخارجية، بدا في البداية أن هذه كانت أجساماً أصغر بكثير من درب التبانة، قريبةً نسبيّاً من مجرتنا. وقد وضعت التنقيحات المتتالية لمقياس المسافة الكونية المجرات الخارجية بعيداً عنا مع ما يترتب على ذلك من أنها أكبر تماثليّاً، مما يقلل من الأهمية المتصورة لدرب التبانة في الكون (٢٠١).

وبما أن غودوين وآخرين يعتبرون أن حجم درب التبانة الأصغر مما يؤكد المبدأ الكوبرنيكي، بالتالي، فلكي يكونوا على اتساق مع «منطقهم»، ينبغي عليهم أن ينظروا على أن كتلتها الكبيرة تناقض المبدأ الكوبرنيكي.

(٢) انظر: الجدول ١ من:

P. Hodge, "A Comparison of the Andromeda and Milky Way Galaxies," in *The Milky Way Galaxy, H. van Woerden et al.*, eds. (Dordrecht: D. Reidel, 1985), 423-430.

السطوعان الأزرقان المقابلان للمجرتين متكافئان في حدود ارتيابات القياس.

ربما تتجاوز كتلة أندروميدا، رغم ضخامة وسطوع هذه الأخيرة[1]

وكما ناقشنا؛ فإن عمر وأنواع المجرات حسب نسق هابل هي أيضاً مهمة. كل المجرات المتشكلة في التاريخ المبكر للكون، والمجرات منخفضة الكتلة المتشكلة الآن، فقيرة من حيث المعدنية، مما يقلل احتمال أن تكون موائل الحياة. تتصل مشاكل مماثلة بالعناقيد الكروية والمجرات غير المنتظمة. لدينا الآن سبب لنفترض أن المجرات الحلزونية الكبيرة مثل درب التبانة التي تشكلت في نفس الوقت تقريباً هي أكثر صلاحية للحياة من المجرات مختلفة الأعمار والأنواع. إن المحتوى المعدني للمجرة لا يعتمد بشكل كبير على عمرها فقط بل أيضاً على كتلتها. ومع عدم وجود ما يكفي من المعادن، لن تكون هناك مواد كافية لبناء كواكب أرضية. وبدون هذه، لن توجد بيئات مناسبة للحياة. لذلك فمجرتنا الحلزونية الضخمة للغاية، موطن مناسب بشكل خاص لكوكب صالح للسكن ولنظام شمسي، مع توفير مكان مثالي لملاحظة واكتشاف مجرتنا والكون الواسع في نفس الآن.

يمكن للمرء أن يعتقد أنه ليس للمبدأ الكوبرنيكي أي مكان آخر يذهب فيه، ولا مجالاً كبيراً يكون فيه خاطئاً، ولكن يبقى شيء واحد: الكون ككل.

---

(١) S. T. Gottesman, J. H. Hunter, Jr., and V. Boonyasait, "On the Mass of M31," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 337 (2002), 34-40.

الفصل الثالث عشر

التنصل الأنثروبي

إنّ المعركة المقبلة للثّورة الكوبّرنيكية تقع على عاتقنا. فكما أنّ كوكبنا لا يحتلّ مكانة خاصّة داخل نظامنا الشّمسي، وأنّ هذا الأخير لا يحتلّ موقعاً خاصّاً في الكون، فكوننا هذا بدوره ليس ذا مكانة مميّزة ضمن المزيج الكوني الهائل من الأكوان الذي يضمّ أكواننا المتعددة.

ـ فريد آدمز وجريج لولين[1]

حماية الرّهان:

إنّ المبدأ الكوبّرنيكي ليس قاصراً على علم الفلك وحده، فهو يتجلّى بنفسه في الفيزياء وعلم الكونيات كذلك. لكن في العقود الأخيرة، مرّ المبدأ الكوبّرنيكي بأوقات عصيبة في هذه المجالات، بحيث تطلّب تدعيمه استدعاءَ تعديل مهمّ يعتمد على المبدأ الأنثروبّي. هذا الرّد هو نتيجة لاثنين من أبرز التطوّرات العلميّة في القرن العشرين (التي كانت ممكنة بفضل قابلية القياس الاستثنائية للكون): الاكتشاف المزدوج أنّ الكون مضبوط بشكل دقيق ومحدود العمر. قد تبدو محدوديّته اكتشافاً حميداً نسبيّاً، لكنّه في الواقع يُضعف المبدأ الكوبرنيكي بقدر ما تضعفه حقيقة أنّه مضبوط بشكل دقيق لأجل الحياة والاكتشاف.

---

(١) Fred Adams and Greg Laughlin, Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity (New York: The Free Press, 1999), 201.

التركيز في الأصل.

المبدأ الكوبّرنيكي في علم الكونيّات:

رغم النّقاش المطوّل الذي كان يحوم حول عمر الكون في أوروبا منذ منتصف القرن السّابع عشر والذي امتدّ لاحقاً إلى الولايات المتّحدة، فإن الرّأي العلمي التقليدي بحلول القرن التّاسع عشر، تبنى القول بأن الكون لا نهائي وأزلي. فأتاح الافتراض مسلكاً سهلاً لتجنّب الأسئلة حول أصل المادّة والفضاء والزّمن والقوانين الطّبيعية. وقد بدأ نيوتن هذا التّطور، لكن لا بغرض تجنّب الأسئلة الفلسفية المثيرة للقلق. وبالنّسبة له، أجابت لا نهائية الكون عن السّؤال: لماذا لم تتسبّب الجاذبية في انهيار مكوّنات الكون بعضها على البعض؟ وأظهر الكون بالإضافة لذلك، على أنّه «حِسِّية إلٰهية» (divine sensorium) ـ وهي الوسطية التي يتصرّف وفقها الإلٰه في العالم. ولكي يكون الكون ملائماً لهذه المهمّة، وجب أن يكون لا نهائيّاً. وغنيٌّ عن القول، إنّ الدّعاة اللّاحقين الذين أضافوا الأزلية إلى المالانهاية، لم يشاركوا هذا الدّافع؛ لذلك فإنّ ما اقترحه نيوتن أصبح تنبّؤاً آخر للمبدأ الكوبرنيكي، مع فرق أنه هذه المرّة ينطبق على الكون بأسره:

التنبّؤ السّابع: الكون لا نهائي من حيث الفضاء والمادّة، أزلي من حيث الزّمن.

استمرّ هذا الافتراض خلال القرن العشرين، حتّى اكتشف إدوين هابل العلاقة بين الانزياحات الحمراء ومسافات المجرات واستدلّ منها على توسّع الكون. أتاحت النّتائج التي توصّل إليها وسيلةً للتّوفيق بين الفيزياء النيوتونية «الكلاسيكية» ذات الكون المحدود. والأهمّ من ذلك، أنّها ربّما أكدّت نظرية النّسبية العامّة لآينشتاين (مع أنه قاوم في البداية فكرة الكون المتوسّع، كما ذكرنا في الفصل التّاسع). أدّى تبصر هابل إلى تطوير علم كونيّات الانفجار العظيم، الذي استلزم أنّ الكون، بما في ذلك الزّمن الكوني نفسه، كانت له بداية. لم يكن في الإمكان أن يوجد تباين أكبر بين الافتراض والمراقبة. فالاختلاف القائم بين الكون المحدود زمنيّاً الذي استلزمه علم كونيات الانفجار العظيم، والكون الأزلي المفترض من قِبل علم الكونيات الأرسطي

وقرنين من العلم الحديث، يقلّل من أهمية جميع عيوب المبدأ الكوبرنيكي الأخرى. وذلك لأنه، من بين أمور أخرى، من الصعب مقاومة الاستنتاج القائل بأنّ أيّ شيء يبدأ في الوجود يجب أن يكون له سبب «خارجي» يخرجه إلى الوجود(١) وهذا ليس نوع الأدلّة التي استساغها أو توقّعها أنصار المبدأ الكوبرنيكي(٢)

لذلك وقبل أن تجعله الأدلة المضادة في موقف واهٍ، كما ناقشنا في الفصل التاسع، طوّر علماء مثل **فريد هويل**، **هيرمان بوندي** (Hermann Bondi)، **وتوماس غولد** (Thomas Gold) نماذج الحالة الثابتة للاحتفاظ بكون أزلي من دون بداية(٣) وفقاً للنظرية، كان الكون آخذاً في الاتساع، لكن مادة جديدة كانت تستمر في الوجود. بهذه الطريقة، فهي تحتفظ بمراقبة كون متوسع لكنها تتجنب الحاجة إلى بداية للكون ككل. فأكسبتها هذه السمة وحدها بعض الأتباع. فمثلاً في عام ١٩٦١م، استخدم **دينيس سسياما** (Denis Sciama) المبدأ الكوبرنيكي لاختيار نموذج الحالة الثابتة مقابل نموذج الانفجار العظيم، محتجّاً بأن أحد أهداف العلم المهمّة «ينبغي أن تبيّن أنّه لا توجد ميزة تصادفية للكون»(٤) وفي هذه الحالة على الأقل، ضلّله المبدأ. كما لاحظنا سابقاً، فقد أدى اكتشاف إشعاع الخلفية الكونية والقوة التفسيرية من التخليق النووي للعناصر الخفيفة إلى وفاة نموذج الحالة الثابتة.

---

(١) الفيلسوف المعاصر الذي بذل قصارى جهده لتطوير حجته هو وليام لين كريغ (William Lane Craig). انظر: بشكل خاص في:
The Kalam Cosmological Argument (Eugene, Ore.: Wipf & Stock, 1979) & William Lane Craig and Quentin Smith, Theism, Atheism, and Big Bang Cosmology (Oxford: Clarendon, 1993).

(٢) قال السّير آرثر إدينغتون، الذي لم تَرُقْه تَبِعات نموذج الانفجار العظيم، «يبدو أن البداية تَعْرض صعوباتٍ تَعْجِيزية إلا إذا اتفقنا على النظر إليها على أنها خارقة بَراحاً». في The Expanding Universe (New York: Macmillan, 1933), 124.

(٣) Fred Hoyle, "A New Model for an Expanding Universe," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 108 no. 5 (1948): 372-382; Hermann Bondi and Thomas Gold, "The Steady-State Theory of the Expanding Universe," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* no. 3 (1948): 252-270.

(٤) Denis Sciama, *The Unity of the Universe* (New York: Doubleday, 1961), 70.
مقتبس في .McMullin, *Indifference Principle*, 368

في ظل سعيهم وراء ماض أزلي، اقترح بعض العلماء أيضاً نموذج «الكون المتذبذب» (oscillating-universe). والفكرة أن كوننا مجرد حلقة في دورة أبدية للانفجارات العظمى، والتوسعات، والانهيارات. لكن هذا الاقتراح أيضاً لم يسلم من المشاكل. يلخص فيلسوف العلوم **ستيفن ماير** (Stephen Meyer) اثنين من أهمها:

وكما بيّن الفيزيائي ألان غوث، تقترح معرفتنا بالإنتروبيا (entropy) أن الطّاقة المتاحة للقيام بالعمل سوف تنخفض مع كل دورة متتالية.. وهكذا، من المحتمل أن الكون قد وصل إلى توازن صِفْري منذ فترة طويلة إذا كان موجوداً بالفعل لفترة لا متناهية من الزّمن.. والأبعد من ذلك، تشير القياسات الأخيرة إلى أنّه ليس للكون سوى جزء صغير.. من الكتلة اللّازمة لخلق انقباض تجاذبي في المقام الأوّل[1]

يمكننا أن نضيف إلى هاتين المشكلتين مشكلةً ثالثةً: الدليل على تجدد تسارع التوسع الكوني الذي نوقش في الفصل التاسع. فما يبدو ليس أن وتيرة توسع الكون غير بطيئة كفاية لتؤدي إلى انقباض فحسب؛ بل إنها تتسارع في حقيقة الأمر. إذا كان هناك من يأمل أن يُدخِل خلسةً زمناً لا نهائيّاً مع لمسة بعث غريبة من الشرق الأقصى في علم الكونيات الحديث؛ فإن هذه الملاحظة الأخيرة ستثير المشاكل. إذا ساد هذا الرأي القائل بتسارع التوسع، فإنه سيجعل فكرة انهيار كوني جديد أمراً لا يمكن تصوره، تاركاً مفهوم البداية سالماً[2]

---

(١) Stephen Meyer, "The Return of the God Hypothesis," The Journal of Interdisciplinary Studies XI, no. 1/2 (1999): 9. المقالات التي تثبت هذا الادعاء هي:

lity of a Bouncing Universe," *Nature* (302. April 7, 1983): 505-507; J. E. Phillip Peebles, Principles of Physical Cosmology (Princeton: Princeton University Press, 1993); and Peter Coles and George Ellis, "The Case for an Open Universe," *Nature* 363 (August 25, 1994): 609-613.

وبالطبع هذا لا يعني أن علماء الكونيات قد تخلوا عن محاولة التخلص من تفرد أولي أو بداية، مع تبعاتها الفلسفية البغيضة. انظر على سبيل المثال:

Charles Seife, "Eternal-Universe Idea Comes Full Circle," *Science* (2002), 296-639.

(٢) يحاول ستيفن هوكينج في كتابه ذائع الصيت، A Brief History of Time (New York: Bantam Books, 1988)، قبول ماض محدود، وتفاديه رغم ذلك لبداية كونية (وآثارها اللاهوتية النابية على وجه =

المبدأ الكوبّرنيكي في مختبر الفيزياء:

دون أن نذهب بعيداً إلى مكان آخر؛ فإن مبدأنا الكوبرنيكي ميتافيزيقياً بغروره يمكن أن يرجع متثاقلاً مرة أخرى إلى المختبر ليجرب حظه في الفيزياء. وهنا بقي لدينا تنبؤ نهائي واحد:

التنبؤ الثامن: إن قوانين الفيزياء ليست مرتبة خصيصاً لوجود حياة معقدة أو ذكية.

لكن المبدأ الكوبرنيكي لا يحصل على أي مساعدة هنا. فالكون لا يبدو أن له ماضياً منتهياً فقط، لا يزال يتسع ابتداءً منه أكثر من أي وقت مضى بسرعة أكبر؛ كما أن قوانينه تبدو أيضاً متوافقة بشكل دقيق للحياة، خلافاً للتنبؤ أعلاه. وكما ناقشنا في الفصل العاشر، أصبح من الواضح أنه لو لم تأخذ القوانين الفيزيائية العديدة، والثوابت، والعوامل المستمدة من الكون تلك القيم الدقيقة جدّاً التي تتخذها، لما أمكن لشيء يشبه تقريباً كوننا الصالح للسكن أن يكون موجوداً.

ومع أنه من السهل أن نضيع في أرض مغمورة بأرقام لا يمكن تصورها

= الافتراض). وهو يفعل ذلك بعدد من المناورات المريبة والمثيرة للجدل للغاية، بما في ذلك الزمن التخيلي وتفسير ريتشارد فاينمان «حاصل جمع التواريخ» لنظرية الكم. ونحن لا نجد أن استراتيجيته غير مقنعة فقط بل يائسة لأقصى حد. نُوجّه القارئ إلى نقد ويليام لين كريج المدمر لحجة هوكينج في Theism, Atheism, and Big Bang Cosmology, 279-300.

ومن الجدير بالذكر أن هوكينج، في كتابه الأخير، The Universe in a Nutshell (New York: Bantam Books, 2001)، لا يزال يستخدم حججاً مماثلة، دون الإشارة لأي وعي بالنقد المنشور عنها. كما أنه يؤيد صراحة الوضعية التي يسهل الكشف عنها، على الأقل باعتبارها بقايا، في Brief History. وهذا يسمح له، ولو بصورة متضاربة، بتحاشي الحديث عن قضية ما إذا كان يقصد استخدامه للزمن التخيلي لتمثيل الواقع بدقة. ويدعي أنه إذا كان يعمل رياضيّاً، فإن مثل هذه الأسئلة حول التطابق مع الواقع زائدة عن اللزوم. ولا يبدو أنه يدرك أن استراتيجية التحصين هذه تضعف من رغبته في التخلص من البداية؛ لأنه ما زال أمامنا سؤال ما إذا كان الكون الحالي قد بدأ في الوجود. وإذا كان الفيزيائي النظري يستطيع أن يدبر تعليلاً رياضيّاً لتفادي السؤال فهذا لا يعني أن أي شخص ملزم باتباعه. خاصة عندما يرفض أن يجادل بأن حدسيته تمثل الواقع. وبالإضافة إلى ذلك، مجدداً، فهو يبدو غير مدرك وبلا اكتراث للانتقادات الحادة للوضعية التي أدت فعليّاً إلى تخلي جميع فلاسفة العلم عنها.

وإسفاف فلسفي مبهم، فإن فكرة الضبط الدقيق تبدو يسيرة إلى حدٍّ ما بالنسبة للفهم الحدسي. ونستحضر في هذا الموضع قصة آلة خلق الكون الواردة في الفصل العاشر.

إذا لم يكن هذا التوضيح مقنعاً بالنسبة لك، فهناك توضيح آخر. تخيل جداراً هائلاً أبيض يمتد في كل اتجاه، إلى الغيوم وفي أي اتجاه في الأفق، والذي يمثل مجالاً معيناً من الأكوان المحتملة، مع توفرها على قوانينها وثوابتها الخاصة أو افتقارها إلى بعضها. ثم تخيل أن هذا الجدار مغطى بعدد لا حصر له من النقاط السوداء والحمراء والخضراء، تقع في حدوده الخارجية التي تتوارى عن الكون المرئي، النقاط السوداء، وتمثل «الأكوان» الفوضوية التي لا تتبع قوانين نظامية. وقرب الجزء الداخلي تقع النقاط الحمراء التي تمثل الأكوان التي لديها قوانين وثوابت مستقرة لكنها لا تتوافق مع وجود كائنات معقدة، قادرة على المراقبة مثلنا. ووسط هذا البحر من النقاط الحمراء، ترى نقطة خضراء واحدة تسمى بـ«الكون الحالي». ورغم أننا نعتبر هذا أمراً مسلَّماً به، فإن ما سنتوقعه ليس النظام فقط لو ألقي بنا في رياح الاحتمالات؛ لذا فإن الغالبية العظمى من هذا الجدار الهائل سيكون أسودَ. ونسبة أصغر بكثير منه ستكون حمراء، ونسبة صغيرة للغاية بحيث لا يمكن تصورها ستكون خضراء. السؤال هو: لماذا تكون النقطة الخضراء الوحيدة، بحسب معرفتنا الحالية هي الموجودة؟

وتنبه إلى أن القول بأن قوانين الكون، والثوابت، والعوامل تأخذ قيماً دقيقة جدّاً لا يعني أنه لا يوجد أي كون آخر من أي نوع يمكن أن يكون قابلاً للسكن من قبل أي نوع من الكائنات الحية[1] إنما يعني: أنه إذا أردنا أن

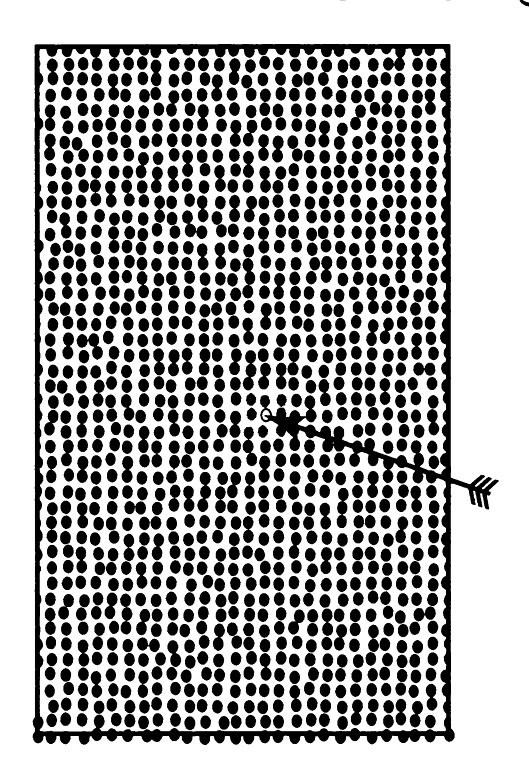
---

(١) غالباً ما يساء فهم هذه النقطة. انظر على سبيل المثال:

Anthony Aguirre, "The Cold Big-Bang Cosmology as a Counter-example to Several Anthropic Arguments," *Physical Review D*, 64. Issue 8 (Oct. 15, 2001), 083508.

لا تقضي الحجة بأن تكون هناك مجموعة واحدة فقط من الثوابت الفيزيائية المتوافقة مع الحياة المعقدة؛ بل هي تستلزم فقط أنه من بين مجموعة الأكوان البديلة المعتبرة في «الجوار الكوني»، مجموعة الأكوان التي تسمح بالحياة ضيقة جداً.

نعبث بالقيم التي تحقق كوننا حاليّاً ـ إذا كنا مثلاً، سنضبط قيمة الجاذبية قليلاً فقط في أي اتجاه ـ فإن الكون سيصبح غير صالح للحياة لأي نوع من الكائنات المعقدة. بعبارة أخرى، وبقدر عدد النقاط التي نهتم للتحقق منها في الجوار العام لمنزلنا، فإن الكثير منها ستكون حمراء بشكل أكبر من الخضراء. وهذا فقط في مجال الأكوان التي تعمل وفق القوانين النظامية. وسواء ظهرت نقطة خضراء في جزء بعيد من الجدار أو لم تظهر، فإن هذا لا يؤثر على حقيقة أن كوننا يقع ضمن بحر من النقاط الحمراء.



● **الشكل ١٣،١:** من بين الأكوان الممكنة العديدة في «جوار كوننا»، ستكون تلك التي تتمتع بقوانين وثوابت مثل كوننا، هي فقط التي تتوافق مع وجود الحياة المعقدة.

إن اختيار هذه النّقطة الخضراء الوحيدة وسط مساحة واسعة كانت لتكون بخلاف ذلك ممتلئةً بالنّقاط الحمراء، يتطلّب بعض التّفسير الملائم. وقد استنتج عدد مفاجئ من الفيزيائيين وعلماء الفلك من هذه الأدلّة أنّ الكون مصمّم في حقيقة الأمر. حتى إنّ الفيزيائي **بول ديفيز**، مثلاً، يقول ـ عاكساً

وجهات نظره السّابقة ـ: «إن انطباع التصميم يبدو طاغياً»[1] واعترف عالم الفيزياء الفلكية الرّاحل **فريد هويل**، أحد مؤسّسي نموذج الحالة الثّابتة والملحد المتشدّد، قائلاً: «يشير التّفسير المنطقي للحقائق إلى أنّ ذكاء خارقاً قد عبث بالفيزياء وكذا الكيمياء والبيولوجيا، وأنّه لا وجود لقوى عمياء في الطبيعة يجدر الكلام عنها»[2]

وقد كان بعض العلماء مثل عالم الكونيات بكامبردج **ستيفن هوكينج**[3] (Stephen Hawking)، يأملون أن تُحَلّ المشكلة بتقويض القوى الأساسية وكل ما يستتبعها، إلى نظرية موحدة كبرى (Grand Unified Theory). وبالنظر إلى هذه النظرية، يفترض أن القوى المختلفة التي تبدو الآن متوافقة بدقة بالنسبة لبعضها البعض، النتيجة الحتمية لقانون واحد شامل. وإذا كان هذا يحل مسألة التوافق بين المتغيرات **المستقلة**، فإنه سيرث نفس الإشكال الذي كان من المفترض أن يصلحه؛ لأن أي نظرية موحدة من هذا القبيل تستوجب قيمة معينة أو رقماً أو صيغة. وإن كانت جميع القوانين الحالية للفيزياء تتبعها بالضرورة، فإنه لن يكون ضروريّاً لهذه الصيغة أن تكون ذات مستوى أعلى.

يبدو أن الضبط الدقيق ينتقل ببساطة بمستوى واحد. في الواقع، يبدو أن الوضع سيزداد سوءاً. بدلاً من المتغيرات المتعددة، سيكون هناك متغير **كبير** واحد، تنتج من خلاله مجموعة من القوانين الفرعية كوننا الصالح للحياة. سيبدو الأمر مثل لعب البلياردو على طاولة تضم عدداً لا يحصى من الكرات تُبتلع كل كرة فيها بضربة واحدة.

ويرى آخرون أنه بغض النظر عن مدى التوافق الذي قد يبدو عليه الكون، فإننا لا نستطيع الحصول على احتمال فعلي منه؛ لأنه لا يمكننا أبداً

---

(١) Paul Davies, *The Cosmic Blueprint* (New York: Simon & Schuster, 1988), 203.

(٢) Fred Hoyle, "The Universe: Past and Present Reflections," *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* (1982), 16-20.

(٣) Stephen Hawking, *A Brief History of Time* (New York: Bantam Doubleday Dell, 1998). tenth anniversary edition

أن نتحقق تماماً من كل النقاط الممكنة على الجدار. لا يمكننا لأننا مهما نظرنا عن كثب، فإننا نستطيع دائماً أن نضع عليه نقطة أخرى، بنفس الطريقة التي نستطيع من خلالها تشويش القوانين افتراضيّاً بقدر قليل على آلتنا الخاصة بصنع الكون. هناك لانهاية محتملة من الأكوان الممكنة، كما توجد لا نهاية محتملة من النقاط على خط الأعداد(١) كيف يمكننا التحقق من كلٍّ منها لتحديد نسبة الصالحة وغير الصالحة للحياة؟ قد يكتنف هذه الشكوى شيء من الحقيقة، وهذا هو ما يميز الحجج الكونية الخاصة بالضبط الدقيق عن المقارنات بين البيئات المحلية في الكون. وحتى مع انعدام الدقة المطلوبة التي يمكن أن يوفرها الاحتمال الفعلي، يدرك الجميع أن العدد الهائل لما يسمى بالصدف أمر مريب ويحتاج إلى تفسير أو توضيح على الأقل. ومن الواضح أن العديد من العلماء من الذين سينتقلون إلى امتدادات تأملية غير مسبوقة لإنقاذ المبدأ الكوبرنيكي يدركون هذه الحاجة إلى التفسير (كما سنرى أدناه).

وكما مرَّ، يمكن لقصة ما أن تعين على التوضيح. فنعود مجدداً إلى آلة صنع الكون. ربما يكون Q، مضيفك الخاص، قد كتم تفصيلاً مهمّاً جدّاً. ومع أنك راض عن صدقه مبدئيّاً، فإنك تقرر أن تأخذ نظرة فاحصة على الآلة الغامضة. بالإضافة إلى مفاتيح التحكم المتعددة، تلاحظ الآن غطاءً مموهاً. وتحته تجد لوحة مفاتيح مخفية وشاشة عرض عليها رقم واحد عملاق، لنقل، ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٥. فيعترف Q وهو يشعر بالحرج مجدداً، أن هذا الرقم الواحد: التأليفة الموحدة الكبرى هي التي تتحكم بكامل العرض. وبواسطة لوحة المفاتيح، يمكن للمرء أن يغير الرقم **دون حد**، في أي اتجاه

---

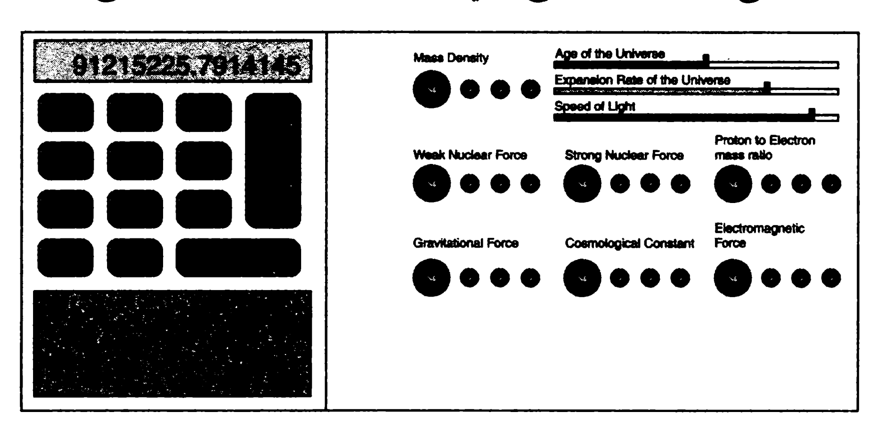
(١) للاطلاع على عرض ممتاز لهذه الحجة، انظر:

Timothy McGrew, Lydia McGrew, and Eric Vestrup, "Probabilities and the Fine-Tuning Argument: A Skeptical View," Mind 110 (October 2001).

وقد رد الفيلسوف روبن كولينز على حجتهم في:

Fine-Tuning and Comparison Range: An Answer to McGrew, Vestrup, and Manson" ìÕ úÍÒãì¤ http://www.messiah.edu/hpages/facstaff/rcollins/crange.htm.

وفي أي طرف من العدد العشري. وبخلاف مفاتيح التحكم الفردية، لا العدد نفسه ثابت ولا عدد أرقامه. ولكن أي تغيير في التأليفة الكبرى من شأنه أن يؤثر على جميع تأليفات المفاتيح التي تعين القوى المختلفة. فيتضح أن Q،



● **الشكل ١٣,٢: حتى لو حددت جميع البارامترات الكونية المختلفة بقانون موحد، وحتى لو كان مجال الأكوان الممكنة لا نهائيّاً، فإنه لا يزال بإمكاننا أن نعرف أن الكون متوافق بدقة. وسيكون مثل الكون الذي تنتجه آلة رقمية لصنع الكون، التي تتطلب تأليفة عددية محددة جدّاً لإنتاج كون يصلح للحياة.**

قضى وقته في محاولة تغيير هذا العدد، بدلاً من أن يزعج نفسه مع المفاتيح الفردية. وهو لا يزال مقتنعاً بأن هناك أعداداً أخرى من شأنها أن تنتج أكواناً قابلة لأن تسكن؛ إلا أنه لم يجد بعد أيّاً منها(١)

---

(١) في الواقع، يحتاج هذا المثال إلى تعديل بسيط، قد لا يكون الغرض منه واضحاً مباشرة. إلا أن شرحه يجعله مملاً ومعقداً بعض الشيء (ولذلك يرد في هذه الحاشية). ليس صحيحاً تماماً أن نقول: إن هناك مجموعة واحدة فقط من الثوابت (في المثال، تأليفة رقمية واحدة) متوافقة مع كون صالح للحياة. بعد كل شيء، فحتى قوة الجاذبية المرتبطة بالقوة الكهرومغناطيسية مضبوطة بدقة «فقط» إلى حدود الخانة العشرية الأربعين. لذلك يتطلب التوضيح مجموعة من التأليفات بدل رقم واحد. تخيل في هذه القصة أن Q اكتشف أنه بإمكانه إضافة أي رقم إلى يمين التسلسل ـ أي: وراء الخانة العشرية الثامنة ـ دون التأثير في النتيجة. لكن أي تغيير آخر في التأليفة فوق هذا المستوى من الدقة يسبب كارثة. هذه هي الفكرة: قرر Q أن هذا العدد، ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٥، كان ضروريّاً لآلة صنع الكون لتوليد كون صالح للحياة، مع سماح التأليفة بتغييرات في رقم يتجاوز النقطة العشرية الثامنة. لذا فإن تأليفات مثل ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٥١، ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٥٢، وغيرها لا تزال تسمح بكون صالح للحياة، لكنه لا يستطيع إيجاد أمثال هذه التأليفات دون تسلسل الأعداد الأولي ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٥. وهذا يشير إلى أن كل رقم بين ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٥ =

فحقيقة أن هناك تأليفة واحدة فقط تعين قوة واحدة مُوَحَّدَة؛ يعني: أن القوى المختلفة ليست مستقلة تماماً. كما أن حقيقة أن إمكانياتها لا نهائية احتمالاً سيمنعك من إجراء حساب احتمال على المجموع. يمكنك فقط أن تأخذ بعين الاعتبار الأعداد (المتعددة) القريبة من التأليفة الأصلية التي تمت تجربتها حتى الآن، وإجراء احتمال عليها. هل سيحول هذا دون استنتاج أن التأليفة الكبرى قد تم وضعها قصداً؟ طبعاً لا

إنقاذ المبدأ الأنثروبي وفرضية العوالم المتعددة:

ظاهريّاً، تبدو هذه السلسلة من التنبؤات الكاذبة كهزيمة صاعقة للمبدأ الكوبرنيكي، خاصة وأن هذه الصدف متعددة للغاية بحيث أنها تقلل حتى احتمال وجود أمكنة صالحة للحياة داخل كوننا العتيق الشاسع. لكن بمجرد أن يتحول المبدأ الكوبرنيكي الطامح من الناحية الميتافيزيقية، إلى عقيدة، سيغدو مرناً وقابلاً للتعديل بسهولة. وعند تعديله، فإنه سيستوعب مفهوماً يخالفه ظاهريّاً، وهو ما يسمى المبدأ الأنثروبي. كان هذا المبدأ الذي أسيئت تسميته إلى حدٍّ ما، محط حديث العديد من الكتب والمقالات منذ السبعينات، وقد صاغه المنظرون بأساليب متنوعة، بدءاً من المكررة والأقل أهمية وانتهاءً بالمبهمة والشاذة.

= و٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٦ يسمح بكون صالح للحياة. وبطبيعة الحال، من الناحية الرياضية، هناك مالانهاية محتملة من الأرقام بين كل عددين. ومع ذلك، فعلى الرغم من أن Q قد وجد بصورة احتمالية مجموعة لا نهائية من التأليفات على هذا المستوى من الدقة التي ولدت كوناً صالحاً للحياة، وقد لا يكون لديه شك في أن التأليفة الأصلية كانت محددة. ولعل أحد الأسباب على الأقل هو أن جزءاً محدداً واحداً من المعرفة، والذي يقيد بشكل كبير مجال الاحتمالات، ضروريٌّ لإيجاد «مجموعة» التأليفات التي ستعمل. ويمكن للمرء أيضاً أن يقول: إن تأليفة آلة صنع الكون لا تزال وحيدة؛ لأنه يمكن التعبير عنها كالتالي: «الرمز لتوليد كون صالح للحياة هو أي عدد طبيعي من ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٥ إلى ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٦، باستثناء ٩١٢١٥٢٢٥,٧٩١٤١٤٢٦».
لا يمكن لأحد أن يحصل على حجة أنه يجب علينا أن نظل لا أدريين بخصوص ما إذا كانت التأليفة محددة في البداية؛ لأن هناك بصورة احتمالية عدداً لا نهائيّاً من التأليفات التي يمكنها إنتاج كون صالح للحياة.

والنسخة الأكثر تداولاً على نطاق واسع هي المبدأ الأنثروبي الضعيف (WAP أو م. أ. ض) المشار إليه في الفصلين السابع والثامن. ينص هذا المبدأ على أنه يمكننا أن نتوقع مراقبة الظروف اللازمة لوجودنا كمراقبين[١]

بمعنى ما، يعتبر الـ م.أ .ض تحققاً من التطبيق الساذج المتحمس بشكل مفرط للمبدأ الكوبرنيكي؛ لأنه يقيد القوانين الممكنة، والثوابت، والعوامل بالنطاق المتوافق مع وجود الكائنات المعقدة القائمة على الكربون. وبهذا المعنى فإنه يذكرنا بأنه لا ينبغي لنا أن نتوقع أن نرى تلك القوانين والقيود والعوامل تتخذ قيماً عشوائية[٢] وبفعل تأثير الانتقاء، فإننا لن نرى سوى الظروف المحلية التي تسمح لنا بالوجود. وهذا أمر مفيد لأنه يساعد على تفسير لماذا ـ إذا كان المبدأ الكوبرنيكي على حق ـ لا نجد أنفسنا في شريحة محتملة من الكون؛ كالفضاء البيمجري في زمن ما من المستقبل

---

(١) بدأ براندون كارتر (Brandon Carter) مناقشة معاصرة للمبدأ الأنثروبي بصياغة مماثلة لهذا: «إن ما نتوقع ملاحظته يجب أن تقيده الشروط اللازمة لوجودنا كمراقبين». في:
"Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology," في M. S. Longair, ed., Confrontation of Cosmological Theory with Astronomical Data (Dordrect: Reidel, 1974), 291-298. أعيد طبعه في (John Leslie, ed., Physical Cosmology and Philosophy (New York: Macmillan, 1990). اقترح كارتر بالإضافة إلى المبدأ الأنثروبي الضعيف، المبدأ الأنثروبي القوي (SAP). هناك نقاش تأويلي يحيط بمعنى المبدأ الأنثروبي القوي، وعلى وجه الخصوص، بمعنى كلمة «يجب» في صياغة كارتر. يؤول ليزلي كارتر على هذا النحو: يشير المعنى الضعيف إلى موقعنا في الزمان والمكان. ويشير المعنى القوي إلى الكون ككل. ويعني (SAP) أن «أي كون يتوفر على مراقبين فيه يجب أن يسمح بالمراقبة». انظر: «مقدمة» ليسلي في Modern Cosmology and Philosophy, John Leslie, ed., (Amherst, NY: Prometheus, 1998), 2. وسواء كان هذا التفسير الصحيح أو لم يكن، فقد حمل المبدأ الأنثروبي القوي على أوجه متعددة، ولا يوافق عادة صياغة كارتر الأولية. ونحن نتابع هذه التعاريف للمبادئ الأنثروبية الضعيفة والقوية، دون الحكم على موافقتها لصياغة كارتر الأولية.

(٢) يبدو أن كارتر فهمها على هذا النحو. يقول في:
"Large Number Coincidences" (reprinted in *Physical Cosmology and Philosophy*, 131).
«يتألف أساساً من رد فعل تُجاه نزوع مبالغ فيه للمبدأ الكوبرنيكي». لقد علمنا كوبرنيك درساً سليماً جدّاً وهو أنه لا يجب أن نفترض بلا تعليل أننا نحتل موقعاً مركزيّاً متميزاً في الكون. ولسوء الحظ، كان هناك اتجاه قوي (ليس لا واعياً دوماً) لتوسيع مقالته إلى عقيدة مشكوك فيها ثم إلى فكرة أن وضعنا لا يمكن أن يكون متميزاً بأي شكل من الأشكال.

البعيد[1] ثم يشرح المبدأ الكوبرنيكي جميع الطرق التي يكون فيها موقعنا مكاناً عادياً؛ بينما يفسر المبدأ الأنثروبي الاستثناءات. ومع ذلك، فإن استخدام هذين المبدأين معاً يبدو شيئا ما مثل قصة مدير محطة السكك الحديدية الذي ادعى أن جميع القطارات الخاصة بها تصل في وقتها. وعندما يشتكي الركاب من وصول القطارات في وقت متأخر؛ فإنّه يؤكّد تصريحه: «في الواقع، إنّ ما قصدته هو أنّ جميع القطارات تصل في الوقت المحدد، إلّا عندما لا تفعل»[2] إنّ المبدأ الإنثروبي هو نوع من أفلاك التدوير التي تمنع المبدأ الكوبرنيكي من التذرّع بالأعذار. قد يذهب الم.أ.ض في الطّريق نحو شرح ظروفنا الغريبة الصّالحة للحياة دون اللّجوء إلى مصمّم ذكيّ للكون، لكنّه لا يفيد كثيراً في إنقاذ المبدأ الكوبرنيكي.

يطبّق المبدأ الأنثروبي القوي (كما يُعرّفه البعض) هذا المنطق نفسه في القوانين والثّوابت والظّروف الأولية للكون ككل: يمكننا أن نتوقّع إيجاد أنفسنا في كون متوافق مع وجودنا[3] وهذا صحيح بما فيه الكفاية. لكن هناك مشكلة واحدة، وهي أنّ البعض يعتقدون أن المبدأ الأنثروبَي في تطبيقه على الكون تفسير كاف لمثل هذا الضّبط الدّقيق. **ولكنّ المبدأ الأنثروبي في حدّ ذاته ليس تفسيراً. فهو ينصّ ببساطة على شرط ضروري لمراقبة الكون. ولا يفسر سبب وجوده، أو سبب ضبطه بتلك الدّقة. إنّ ما يثير الدّهشة ليس ملاحظتنا لكون صالح للحياة؛ بل حقيقة أنّ هذا الكون الصالح للحياة هو، على حدّ علمنا، الوحيد الذي يوجد.**

---

(١) Konrad Rudnicki, "The Anthropic Principle as a Cosmological Principle," 123.

(٢) نتقدم بالشكر لبول نيلسون (Paul Nelson) على هذه القصة.

(٣) كما سبق ووضحنا في الحاشية ١٤، هناك مجموعة محيرة من التعاريف المختلفة للمبدأ الأنثروبي القوي في الأدبيات. وعادة ما يُعرف بأنه يعني: أن القوانين والثوابت يجب أن تكون ما هي عليه، أو أنها بالضرورة ما هي عليه. والبعض الآخر يعرف (WAP) بأنه تأثير انتقاء وأن (SAP) يستلزم أن الضبط الدقيق هو نتيجة للتصميم المقصود. وهذا الاختلاف محير، لذلك قررنا أن نتماشى مع التعاريف التي يسهل فهمها. لا شيء حاسم في حجتنا يعتمد على هذه الطريقة في تعريف (WAP) و(SAP).

فَكِّر مثلاً، في محقِّق من عصرنا يتحرّى جريمة قتل؛ حيث توفيت الضّحية بقطع رأسها في شقّتها بواسطة سيف ضوئي. فكانت إحدى الشّروط اللّازمة لقطع الرّأس وجود السّيف الضّوئي في الشّقّة. لكنّ لا أحد سيكون راضياً إذاً ـ بعد العثور على سيف ضوئي يعمل بشكل كامل في مطبخها ـ أغلق المحقّق عملية التّحقيق ببساطة واستنتج قائلاً: «ليس هناك شيء مثير حقّاً بشأن هذا القتل، بحضور سيف ضوئي في شقّة الضّحية. في مسرح الجريمة مع وجود سيف ضوئي وجروح قطع الرّأس، سنتوقّع أن نجد سيفاً ضوئيّاً وجروح تمّت بواسطته». وإذا تمسّك برأيه، دون أنْ يبذل جهداً ولا يرى سبباً لمعرفة كيف يمكن لسلاح يتجاوز القدرات التكنولوجية بكثير في ثقافتنا أن ينتهي به الأمر في مطبخ امرأة، أو لتحديد هوية مستخدم السّلاح، فمن الممكن أنه سيفكّر بسرعة في البحث عن وظيفة جديدة.

والتّشبيه الآخر هو قصّة شعبية عن فرقة إطلاق النار[١] تخيّل أن ضابط مخابرات أمريكي، تمّ القبض عليه من طرف وحدات إس إس النّازية إبّان الحرب العالمية الثّانية، وحكم عليه بالإعدام من قبل فرقة إطلاق النار. وبسبب هذا الضابط، قامت الإس إس بتعيين خمسين من أفضل الرماة المَهَرَة في ألمانيا لإعدامه. وبعد إيقافه أمام الحائط، أخذ الرماة مواقعهم على بعد ثلاثة أمتار. ومع ذلك، فعند إطلاق النار، اكتشف الضابط أن كل رام قد أخطأ التسديد، وأن الخمسين رصاصة قد رسمت حول جسده خطّاً مثاليّاً على الحائط خلفه.

ما الذي يمكن أن نفكر فيه إذا تأمل الضابط موقفه ثم رد قائلاً: «أعتقد أنه لا ينبغي أن أكون متفاجئاً لرؤية هذا. لو أن الرماة لم يخطئوا الهدف، ما كنت لأكون هنا لأشهد ذلك»؟ فمن الصواب أن نتساءل ما الذي كان يفعله في المخابرات، بما أن التفسير الأكثر معقولية أن الإعدام سيكون ـ لسبب ما ـ مزوراً. ربما أُمِر الرماة بتفويت الهدف، أو أنهم تواطؤوا بينهم لسبب مجهول.

---

(١) وهذا مستمد من القصة الشائعة التي سردها الفلاسفة ريتشارد سوينبورن (Richard Swinburne)، جون ليزلي، وآخرون. انظر:

John Leslie, *Universes London: Routledge* (1989), 13-15, 108.

وباختصار، فإن أفضل تفسير سيكون هو أن الحدث كان نتاج تصميم ذكي. وأن يتم تجاهل هذا وينعت بأنه من قبيل الصدفة قول مكابر.

وقد أدرك أنصار المبدأ الأنثروبي الحريصون أنهم بحاجة لأكثر من ذلك. فجادلوا بأن ما يحتاجونه هو اللجوء إلى أكوان أخرى. لكن ليست أية مجموعة من الأكوان ستقوم بالعمل. فعلى سبيل المثال، يقترح بعض الفيزيائيين تبعاً ما يسمى بتأويل إيفرت لفيزياء الكم، أن «أكواناً» أخرى توجد من حيث انشطار الخطوط المختلفة للأكوان نتيجة انهيار «الدوال الموجية» على المستوى الكمومي. في كل انهيار، ينقسم فرع مختلف ليذهب في منحاه. وغنيٌّ عن الذكر أن مثل هذه العملية ستخلف وراءها مجموعة من الأكوان. وبالمثل، فإن بعض النماذج الكونية «التضخمية» تفترض مجموعة واسعة من «الأكوان» المستقلة أو المجالات المنفصلة، والتي أحدثت بعد فترة وجيزة من الانفجار العظيم.

بعد التوسع السريع، أخذ كل مجال في التباطؤ إلى هذا النوع من التوسع المعتدل الذي نكتشفه الآن في عالمنا[١] ولكن أيّاً كانت فوائد هذه النظريات، فإنها لن تقوم بالمهمة، وليس فقط لأنها تفتقر إلى الدعم المتعلق بالمراقبة. فالمشكلة أكثر جوهرية من هذا: فكلا النظريتين تفترضان مسبقاً القوانين المضبوطة بدقة والتي تحتاج إلى تفسير.

يفترض كثيرون أن الذي نحتاجه، هو مجموعة كاملة من العوالم (World Ensemble)، كما تطرح ذلك فرضية العوالم المتعددة (MWH)، مع توزيع عشوائي شامل (لا نهائي)، للقوانين المختلفة في «الأكوان» المنفصلة انفصالاً سببيّاً[٢]، في مثل هذا السيناريو، يوجد ما لا يحصى من الأكوان («كون

---

(١) Alan H. Guth, *The Inflationary Universe* (Reading, Mass.: Perseus Books, 1997).

وهناك المزيد من المقترحات التأملية وهي:

Andrei Linde, "The Universe: Inflation Out of Chaos," in Modern Cosmology and Philosophy, & The Self-Reproducing Inflationary Universe," *Scientific American* (271 November 1994): 48-55.

(٢) للاطلاع على اقتراح تأملي على هذا المنوال، Lee Smolin, The Life of the Cosmos (New York: Oxford =

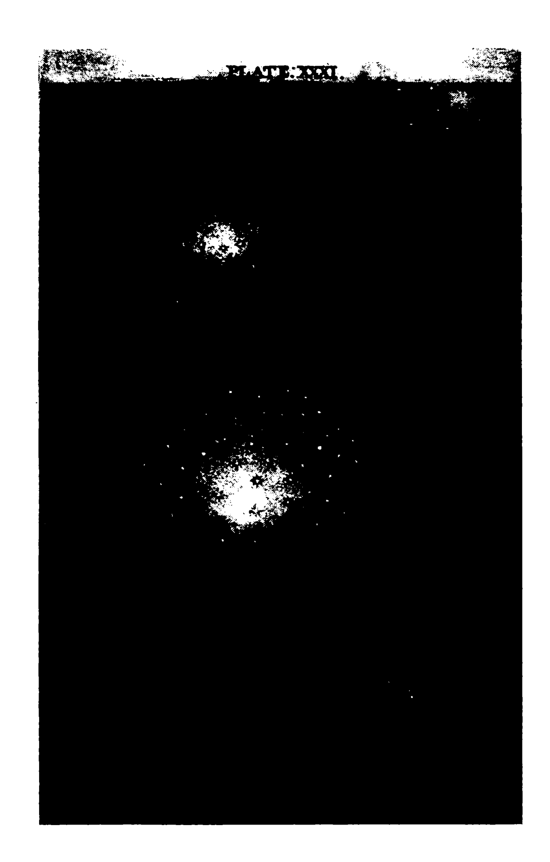
متعدد» أو «مجموعة عوالم»). والأكوان الوحيدة التي لوحظت هي التي من الممكن أن تحظى بمراقبين. في تلك الأكوان فقط، سينظر المراقبون من حولهم، وسيتعجب الجاهلون/الضالون أن كونهم مناسب جدّاً بالنسبة لهم. وبهذه الطريقة فقط، ربما يكون للمبدأ الإنثروبي أمل في إنقاذ المبدأ الكوبرنيكي من هزيمة لاذعة[1].

وبعبارة أخرى، إذا كان كل هذا صحيحاً، فإننا سنلاحظ الكون الصالح للحياة فقط بسبب «تأثير الانتقاء». كما أن عدم احتمال حدوثه سيكون واضحاً، لكن ليس حقيقياً. سنكون مثل الهندباء البَرّية النامية في شق رقيق وسط مرآب قاحل حول إحدى مراكز تكساس التجارية المنتشرة. فتنظر الهندباء حولها وتجد أن زرعها في منطقة ضيقة جدّاً تسمح لها بالنمو والازدهار، مصادفة لافتة للنظر. ما هي الاحتمالات؟ إذا كانت لا تعرف أي شيء حول تكاثر الهندباء، قد تعتقد أن زرعها في المكان الضيق كان مقصوداً. ولكن ربما تكون مخطئة؛ لأنها لا تدرك أنها أسيرة تأثير الانتقاء. تحرر الهندباء الكثير من البذور في مهب الريح. يلازم بعضها اليابسة في بقع ضيقة من الأوساخ في وسط مواقف السيارات الكبيرة. ودون توفر المزيد من المعلومات، ينبغي أن تفترض أن موقعها هو نتيجة للصدفة، والرياح، وبعض العمليات التي لا تتعلق بها، وليس من مهندس مناظر طبيعية قد تقاضى أقل مما يستحق.

لكن هناك فرق هائل بين هذه القصة وحالتنا.

= University Press, 1997) ونحن نتعاطف مع الذين يعترضون على استخدام مصطلح «الكون» بهذه الطريقة؛ لأن «الكون»؛ يعني: التفرد. ومع ذلك، فإن علماء الكون اليوم يتكلمون في كثير من الأحيان عن عوالم أو أكوان متعددة، لذلك قررنا اتباع الإجماع في هذه النقطة.

(١) يلاحظ جون بارو وفرانك تيبلر في كتابهما الكلاسيكي حول هذا الموضوع، The Anthropic Cosmological Principle (Oxford: Oxford University Press, 1986), 4، «بمعنى ما، يمكن اعتبار المبدأ الأنثروبي الضعيف تتويجاً للمبدأ الكوبرنيكي؛ لأن الأول يبين كيفية مَيْز السمات الكونية التي يعتمد تجليها على الانتقاء إنساني التمركز عن تلك السمات التي تتحدد فعليّاً عن طريق عمل القوانين الفيزيائية».



● **الشكل ١٣,٣: توضح هذه الصورة التي أنجزها توماس رايت (1750) (Thomas Wright) تصوره «للنظرية الأصلية للكون»، خصوصاً أفكاره حول بنية درب التبانة، ومع ذلك ـ وبالنسبة للقراء الحديثين ـ فإنه قد يشير إلى فكرة أكثر حداثة وأكثر تأملاً وهي أن عالمنا هو عضو واحد فقط من كون متعدد، يتكوّن من العديد من «الأكوان» المختلفة.**

أولاً: ليس من الواضح على الإطلاق أن تكون مجموعة لا نهائية **فعلية** من أي شيء بما في ذلك الأكوان، أمر ممكناً حتى[(١)] **وثانيّاً**: نعلم أن هناك

---

(١) الحجج على هذه النقطة معقدة نوعاً ما. لمزيد من التفاصيل، انظر:

Craig, *The Kalam Cosmological Argument*, and Craig and Smith, *Theism, Atheism, and Big Bang Cosmology*3-191.

هناك بعض الالتباس حول اللانهايات الفعلية في الأدبيات العلمية. على سبيل المثال، يفترض بعض الفيزيائيين وعلماء الكون أنه إذا كان الكون مفتوحاً ويستمر في التوسع إلى أجل غير مسمى، فإن الكون يحتوي أو سيحتوي على عدد لا حصر له من الكواكب والنجوم والمجرات. وهذا لا غير مفهوم حتى لو استمرت المادة في الكون المتوسع في التجمع في النجوم والكواكب والمجرات (وهو أمر لا نملك سبباً لافتراضه)، فإنها لن تصل أبداً إلى مجموعة لانهائية فعلية من هذه الأجسام. بل تكون ضمن عملية مستمرة لذلك، وستكون جزءاً من مجموعة لا نهائية ممكنة، لا مجموعةً لانهائية. =

كتلاً من بذور الهندباء الطليقة في مهب الريح كل ربيع، لكننا لا نتوفر على أدلة مستقلة تحضنا على التفكير بوجود أكوانٍ أخرى، إلا أن الضبط الدقيق يتعارض مع المبدأ الكوبرنيكي والكثير من الناس لا يستسيغون ما قد يلزم عنه[(١)] ويعبّر الفلكيان **فريد آدمز** وجريج **لولين** بصراحة بشأن هذه النقطة:

إن ما يسمى مصادفة أن للكون الخصائص الضرورية المميزة التي تسمح بالحياة يبدو فجأة أقل إعجازاً بكثير إذا ما تبنينا وجهة النظر القائلة بأن عالمنا، منطقة الزمكان التي نرتبط بها، ما هو إلا واحد من عدد لا يحصى من أكوان أخرى. وبعبارة أخرى، فإن عالمنا ليس سوى جزء صغير من **أكوان متعددة**، وهي مجموعة كبيرة من الأكوان، لكلٍّ منها شكل خاص من القوانين الفيزيائية. في هذه الحالة، ستشكل المجموعة الكاملة للأكوان عينة كاملة للأشكال العديدة المختلفة الممكنة لقوانين الفيزياء.. مع وضع مفهوم الأكوان المتعددة في موضعه، فإن المعركة التالية للثورة الكوبرنيكية تقع على عاتقنا. وكما أن كوكبنا لا يحتل أي مكانة خاصة داخل نظامنا الشمسي، الذي لا يحتل هو الآخر مكانة خاصة داخل الكون، **فإن الكون لا يتبوأ منزلة مميزة داخل المزيج الهائل للأكوان التي تشكل أكواننا المتعددة**[(٢)]

= لا يمكن لأي درجة من النمذجة النظرية أن تغير هذه النقطة المنطقية. للحصول على أمثلة للمؤلفين الذين يرتكبون هذا الخطأ، انظر:

Jonathan I. Lunine, "The Frequency of Planetary Systems in the Galaxy," in Jonathan I. Lunine, "The Frequency of Planetary Systems in the Galaxy," in Ben Zuckerman and Michael H. Hart, eds., Extraterrestrials: Where Are They? (Cambridge: Cambridge University Press, 1995), 223-224; and G. F. R. Ellis and G. B. Brundrit, "Life in an Infinite Universe," *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*20 (1979) 128-135.

(١) كما يوضح عالم الفلك والمؤرخ العلمي ستيفن ديك (Steven Dick): «نشأ مثل هذا الادعاء [أن الأكوان المتعددة موجودة] في السنوات القليلة الماضية بعد التفكير في حقيقة أن عالمنا يبدو أنه ضبِط بدقّة لأجل الحياة».

Steven J. Dick, "Extraterrestrial Life and Our World View at the End of the Millenium," *Dibner Library Lecture* (Washington, DC: Smithsonian Institution Series, 2000), 29.

(٢) F. Adams and G. Laughlin, *Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity*, 199, 201.

التأكيد في الأصل. ليس من المستغرب أن آدمز ولولين لا يشيران حتى إلى إمكانية التصميم. وبالمثل، لاحظ نيكوس برانتزوس (Nikos Prantzos) في:

Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe (Cambridge: Cambridge University Press, 2000), 239.

أنه على الرغم من «استحالة أي اتصال مادي بين الأكوان الفقاعية»، «التضخم الفوضوي هو الأكثر =

لاحظ أنّهم لا يقولون: إنّ المهمّة المقبلة للثّورة الكوبّرنيكية هي العثور على أدلّة على ما يسمّى بالأكوان المتعددة. إنّما يقولون: «معركة» كلفظ أكثر ملاءمة لحملة حربية أيديولوجية من فرضية علمية. لقد قمنا بدورة كاملة حول الفوضى اللّا نهائية مع فرصها المتعلّقة بالنّظام التي طرحها بعض الفلاسفة ما قبل سقراط. تفترض مسبقاً حجةُ الأكوان المتعددة هذهِ، الأكثر خيالية بلا حدود من معظم قصص الخيال العلمي، ببساطة، افترض مسبقاً المبدأ الكوبرنيكي، وإلى جانبه الأساطير الكبرى التي تراكمت حول الثّورة الكوبرنيكية. لكن لماذا نفعل هذا؟ إنّنا لا نملك فقط سبباً وجيهاً للشّكّ في المبدأ الكوبّرنيكي، ولكنّ استخدامه لاستدعاء أكوان أخرى إلى الوجود إيمان فاسد بشكل واضح؛ لأننا لن نقبل منطقاً كهذا في أيّ مجال آخر.

لنتذّكر الضّابط الذي نجا من فرقة إطلاق النار النّازية. كيف يكون من المعقول أن يستنتج: «حسناً، الظّاهر أنّه يجب أن يكون هناك الملايين والملايين من عمليات الإعدام المماثلة التي تجري في وقت واحد في جميع أنحاء العالم. وبالنّظر إلى المحاولات العديدة، فإنه لا مفرّ من أن يُفوّت فريقٌ

= جذباً للاهتمام من وجهة نظر فلسفية». يتساءل المرء ما المنظور الفلسفي الذي يفكر به؟ يستخدم مارتن ريس منطقاً مماثلاً. عنوان مقدمة كتابه :Our Cosmic Habitat (Princeton: Princeton University Press, 2001) «هل كان ممكناً أن يصنع الله العالم بشكل مختلف؟» وهو يجيب بـ«نعم»، ويقترح أن ما نسميه قوانين الطبيعة «لا تعدو عن كونها قوانين داخلية محلية ـ نتيجة الحوادث التاريخية للّحظات الأولية بعد الانفجار العظيم الخاص بنا» (xvii). ومع أنه يجيب بـ«نعم» على السؤال، إلا أنه لا يعنيها حقّاً. ففي الواقع، يبدو السؤال مضللاً؛ لأنه يناشد الأكوان متعددة.

في هذا الكتاب، أرى أن مفهوم الكون المتعدد هو جزء من العلم التجريبي بالفعل: ربما نتوفر مسبقاً على تلميحات عن الأكوان الأخرى، ويمكننا أن نتوصل أيضاً لاستنتاجات عنها وعن الطرق الإجرائية التي أدت إليها. في مجموعة لانهائية، قد لا يكون وجود بعض الأكوان التي تبدو مضبوطة بدقة لاستضافة الحياة مفاجأةً؛ وقد يكون من الواضح أن موطننا الكوني الخاص ينتمي إلى هذه المجموعة الفرعية الاستثنائية. إن كوننا بأكمله واحةٌ خصبة داخل الكون المتعدد.

لكن من الواضح أن ريس يطرح معضلة كاذبة. ما مدى دقة استبعاده إمكانية أن كوننا يبدو دقيق الضبط لأنه **فعلاً** دقيق الضبط؟ هو لم يستبعدها. بل فشل فقط في اعتبارها. وبصرف النظر عن ادعاء ريس أن لمفهوم الكون المتعدد نتائج تجريبية، فإنه من الصعب جدّاً رؤية الوظيفة التي يؤديها عدا تفادي النتائج المزعجة لأدلة الضبط الدقيق.

ما من الرّماة هدفهم كلّهم. كلّ ما في الأمر أنّني المحظوظ الوحيد». لا يمكن لأحد أن يتقبّل هذا؛ **أوّلاً**: لأن هذه الزّيادات المخصّصة «للمحاولات» المتاحة تفتقر إلى أدلّة، **وثانياً**؛ لأن ردّ فعلٍ كهذا على الأحداث سيدمّر قدرتنا على إصدار أحكام عملية. إذا أصرّ النّاجي من فرقة إطلاق النّار على قوله، فسيكون في وسعه دوماً أن يربط كلّ تجربة في حياته بالصّدفة[1]، مهما قَوِيَت الأدلّة على التّصميم الذّكي. في الواقع، **لا يمكن أن تُعدَّ الأدلّة على التّصميم الظّاهري مهما تزايدت، دليلاً على التّصميم الحقيقي**. لكن إذا كان العلم هو البحث عن أفضل تفسير، والقائم على الأدلّة الحقّة من العالم المادّي، بدل أن يكون مجرّد بحث عن أفضل التّفسيرات الطّبيعية أو الموضوعية للعالم المادّي، كيف يكون من المقبول تبني مبدأ يجعله غير قادر على رؤية مجموعة كاملة من الأدلّة؟

إنّ فرضيّات العوالم المتعدّدة متنوّعة، وأيّة معالجة شافية ستحتاج سِفْراً كاملاً. لكنّ معظمها يعاني من نفس المعضلة: إذا كانت الأكوان البديلة منفصلة انفصالاً سببيّاً عن كوننا، فإن مجرّد افتراضها ليس تفسيراً سببيّاً؛ بل إنّه لا يرقى حتّى، لنقل، إلى مستوى التّصميم الذّكي؛ لأنه سيتمّ تقديم القول بمصمّم ذكي كتفسير سببي للضّبط الدّقيق **لهذا** الكون (أو كون صالح للسّكن مثله). ولا يزال المرء بحاجة إلى تفسير سببي للمجموعة بأكملها.

ومن ناحية أخرى، إذا قدّم مُنظّر العوالم المتعدّدة آليّة سببية معيّنة، تكافئ آلة صنع الكون، فإنّه سيقوم فقط بتأخير المشكلة خطوة واحدة إلى الوراء؛ لأن «الآلة» ذاتها ستحتاج إلى ضبط دقيق[2]

---

(١) في الواقع، تجمع مجموعة العوالم اللانهائية بين مزايا الصدفة والضرورة، وهنا تكمن روعتها. وحقيقة أننا نجد أنفسنا في كون صالح للحياة، وفقاً لهذا التفسير، ليست نتيجة أي غاية. وبهذا المعنى، فهي نتيجة للصدفة. ومع ذلك، إذا كان وجود هذه المجموعة محتملاً (التي يرجح أن مُنظِّر العوالم المتعددة ينفيها)، إذاً فحقيقة أن هناك أكواناً صالحة للحياة، ترجع إلى ضرورة؛ لأن المجموعة **لانهائية**. يشبه الواقع في هذا المخطط يانصيباً كونياً. والأكوان الفردية هي التذاكر. وبما أن كل كون ممكن موجود، فإن احتمال وجود كون ككوننا هو واحد بالضبط.

(٢) كما جادل فيلسوف العلوم روبن كولينز في:

يمكن للمرء بطبيعة الحال، أن يفترض ببساطة أن الأكوان المتعددة كانت موجودة على نحو ضروري وأزلي، دون سبب. وبعد كلّ شيء، يجب علينا جميعاً أن نُوقف نكوص التّفسير في مكان ما. لكنّ هذه الاستراتيجية تعْرض أساساً فرضية العوالم المتعدّدة كنتيجة استنتاجية نهائية للمبدأ الكوبرنيكي، مع شيء أكثر أساسية من قوّة افتراضها المحفّز.

وحقيقة أنّ هؤلاء الذين التزموا بهذا المبدأ سيستمرّون في البحث عن مبرّرات نظرية للأكوان المتعددة وهو أمر لا يلزم أولئك الذين ليسوا ملتزمين به. ونظراً للفشل المتواصل لتوقّعات المبدأ الكوبرنيكي القابلة للاختبار، قد يكون من الحكمة عدم وضع الكثير من الثّقة على نتيجته الأكثر نظرية(١)

فشل المبدأ الكوبرنيكي:

تستلزم القائمة السابقة لتنبؤات المبدأ الكوبرنيكي، غير الجامعة، أمرين: عندما نستطيع اختبار المبدأ الكوبرنيكي ضد الأدلة، فإنه يميل إلى الفشل(٢)

= "The Fine-Tuning Design Argument: A Scientific Argument for the Existence of God," Reason for the Hope Within, Michael Murray, ed., (Grand Rapids: Eerdmans, 1999), 61.

في جميع المقترحات الناجحة حاليّاً لما يمكن أن يكونه هذا الكون المُولِّد... والمُولِّد نفسه تحكمه مجموعة معقدة من القوانين التي تسمح له بإنتاج الأكوان. فمن المنطقي إذن، أنه إذا كانت هذه القوانين مختلفة قليلاً فإن المولد لن يكون على الأرجح قادراً على إنتاج أي أكوان بإمكانها تعزيز الحياة.

(١) من الواضح أن هناك الكثير مما يجب أن يقال. لكن النقد المفصل لمختلف فرضيات العوالم المتعددة سيأخذنا بعيداً جدّاً عن الموضوع المختار. توجد معالجة * عامة ممتازة لمختلف فرضيات العالم وهي Universes لجون ليزلي. بالنسبة إلى الحجج الأخرى ضد فرضيات عديدة للعالم، انظر:

Roger White, "Fine-Tuning and Multiple Universes," *Nous*, 34 no. 2 (2000): 260-276; Robin Collins, "The Fine-Tuning Design Argument"; William Lane Craig, "Barrow and Tipler on the Anthropic Principle v. Divine Design," *British Journal for the Philosophy of Science*; (1988). 389-395 Jay W. Richards, "Many Worlds Hypotheses: A Naturalistic Alternative to Design," *Perspectives on Science and Christian Faith*, 49 no. 4 (1997): 218-27; William Lane Craig, "Cosmos and Creator," Origins & Design 20, no. 2 (Spring 1996): 18-28; Richard Swinburne, "Argument from the Fine Tuning of the Universe," in *Modern Cosmology and Philosophy*, John Leslie, ed., 160-179.

يوجد ملخص موجز وممتاز لبعض هذه الحجج وهو:

Stephen Meyer, "The Return of the God Hypothesis," 7-17.

(٢) سيفاجئ هذا الاستنتاج العديد من علماء الفلك وعلماء الكونيات. على سبيل المثال، في Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe, 205، أكد عالم الفيزياء الفلكية نيكوس برانتزوس مؤخراً: =

وحينما لا يفشل، فإن ذلك غالباً ما يكون بسبب تراجعه إلى موقف يجعله تقريباً غير قابل للدحض. ومع أنه علينا أن نتوقع دفاعات حامية نظرية للمواصلة، فإن الدليل الحقيقي لا يزال يشير في اتجاه إشكالي للمبدأ الكوبّرنيكي: نحو كون واحد ومتوسع ومضبوط بدقة ومع ماضي المحدود، تغير بشكل كبير مع مرور الزمن. إننا لا نحتل فقط موقعاً استثنائيّاً في هذا الكون؛ بل إننا نشغل أيضاً لحظة خاصة من التاريخ الكوني.

إنّنا وإن لم نكن حرفيّاً ـ نحن ومناطقنا المجاورة ـ في المركز الفيزيائي للكون، فإنّنا استثنائيون بطرق أخرى أكثر أهمية بكثير. بمعنى معيّن، نقع بشكل مريح في «مركز» الكون ليس بالمعنى المكاني السّاذج ولكن فيما يتعلّق بصلاحية الحياة وقابلية القياس. تقف هذه الحقيقة في مواجهة صارخة أمام التّوقّعات التي يدعمها المبدأ الكوبّرنيكي.

وبالإضافة إلى ذلك، فإنّ هذه النّتائج تلقي ضوءاً مختلفاً على السّرد العام للاكتشاف من عهد **كوبرنيكس** إلى الوقت الحاضر. فوجود الكواكب الأخرى والنّجوم والمجرّات وما شابه ذلك هو دعم لا لبس فيه (وإن كان محدوداً) للمبدأ الكوبرنيكي فقط إذا كانت لا تتعلّق إطلاقاً بوجودنا. لكن وكما رأينا، ليس هناك سبب لافتراض ذلك. يعتمد وجودنا فيما يتعلّق بصلاحية الحياة على هذه المتغيّرات المحلية كالقمر الكبير المحقّق للاستقرار

= لقد أثبتت النسخة المكانية لهذا المبدأ [أنه لا يوجد شيء استثنائي بشأننا كمراقبين أذكياء في الكون]، الذي عادة ما يرتبط باسم كوبرنيك، أنها صحيحة في كل مرة كانت تواجهها أدلة رَصْدية. بالفعل، نحن نعيش على كوكب صغير، يدور حول نجم عادي جدّاً بين ألوف النجوم من نفس النوع، داخل مجرة عادية بين مئات مليارات المجرات الأخرى في الكون المرصود.

وهو على حق في تقليله على نحو اعتباطي وغير منطقي اعتبارات الخصوصية للموقع الهندسي في الكون. وبعبارة أخرى، طالما أن المرء يتجاهل الطرق العديدة التي يفيد بها موقعنا الحياة والمراقبة، فإن موقعنا كمراقبين أحياء ومتطورين في الكون لا يبدو خاصّاً على الإطلاق. وهذا يشبه القول: إن مايكل جوردن لا يكون لاعباً استثنائيّاً لكرة السلة في لحظة معينة لأنه لا يوجد في وسط ملعب كرة السلة بل يقع مكانه على عشرة أقدام إلى الداخل وعلى بعد بضعة أقدام على جانب المركز؛ ولا ننسى أنه في هذه اللحظة يتراجع فيها عن جائزة مباراة سبب فوزها رمية عند دق الجرس على بعد خمسة وعشرين قدماً أنجزها تحت تغطية مزدوجة؛ أو أنه، فقط، مايكل جوردن.

وتكتونية الصّفائح والتّغذية الاسترجاعية البيولوجية وغير البيولوجية المعقّدة والاحتباس الحراري والمدار الدائري الموضوع بدقّة حول النّوع المناسب من النّجوم والعناصر الأولية المتطايرة ـ التي توفّر الكويكبات والمذنّبات ـ والكواكب العملاقة البعيدة لحمايتنا من القصف المتكرّر المتواصل للمذنّبات. ويعتمد على نظام شمسي يتموقع بدقّة في النطاق المجري الصالح للحياة في مجرّة حلزونية ضخمة تشكّلت في الوقت المناسب. وهو يفترض مسبقاً تفجيرات المستعرات العظمى الأولى لتزويدنا بالحديد الذي يسري في عروقنا والكربون الذي هو أساس الحياة. ويعتمد أيضاً على النّدرة الحالية لهذه المستعرات العظمى القريبة. ويعتمد أخيراً، على مجموعة من القوانين الفيزيائية التي تمّ ضبطها بصورة دقيقة والعوامل والشّروط الأولية.

ولكن لماذا يكون كوناً كبيراً بهذا الشكل؟ لماذا كل تلك المجرّات الأخرى؟ من المؤّكد أن حجّتنا تنهار هنا. ألا يعني العدد والحجم الهائل للمجرّات، رغم ضيق الظّروف اللّازمة لوجودنا، ببساطة أنّنا الفائزون المحظوظون في يانصيب كوني ضخم؟

وبمعنى ما، يمكن للمرء أن يجادل ـ على قدر ما نعلم ـ أنّه بالكاد يكون كوننا صالحاً للسّكن. كما خلص البعض إلى أنّه إذا كانت الحياة نادرة في الكون، إذن فهو «مُعادٍ» للحياة بشكل عام؛ لأنه يحتوي على العديد من التّهديدات وعددٍ قليل جدّاً من الأماكن المستضيفة. إذا تجاهلنا للحظة الضّبط الدّقيق للقوانين والثّوابت التي تقيّد الكون كلّه، وتجاهلنا أن مثل هذا الادّعاء يفترض ضمنيّاً أنّ الكون موجود بلا هدف، فربّما يكون هذا الاستنتاج معقولاً هناك بالتأكيد تأثير الانتقاء على المستوى المحلي؛ لأنه، وبخلاف الأكوان البديلة غير القابلة للكشف، هناك الكثير من الأماكن الأخرى التي نعلم أنها تقع داخل الكون الحاضر. يحاول المبدأ الأنثروبّي الضّعيف أن يستوعب هذا: إذا كنا نعيش في كون بالكاد يكون صالحاً للحياة ونراقب فيه، لا ينبغي أن نتفاجأ من كوننا سنجد أنفسنا فقط على كوكب صالح للحياة في منطقة مدارية ضيّقة صلاحة الحياة حول نجم صالحة للحياة بشكل غير عادي

في المكان المناسب في مجرّة بالكاد تكون صالحة للحياة في الوقت المناسب في كون بالكاد يكون صالحاً للحياة وفي العمر المناسب لإنتاج الكواكب الأرضية من حالة أصلية كثيفة. هناك قضايا أخرى مثيرة للاهتمام في هذا الموضع، وهذا وحده ليس مفاجئاً.

لكن لاحظ كيف تعكس العلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس اقتضاء كون شاسع. تتيح لنا فساحة الكون مجالاً واسعاً للاكتشاف. إنّ وجود الكواكب، والنّجوم، والمجرّات يسمح لنا بمقارنة وتقدير شروط قابلية للقياس وصلاحية الحياة. وهو ما سيكون مستحيلاً لو كانت الأرض كوكباً منعزلاً يدور حول نجم منعزل في كون فارغ. كان ذلك مستحيلاً عقلاً دون الثّورة الكوبّرنيكية (الحقيقية) التي أدّت إلى الوعي بأنّ السّماوات والأرض تتّبع نفس القوانين وتتكوّن من نفس المادّة. ومقارنة مع السماء الممتدّة المرصّعة بالنّجوم والتي تومئ لنا وتثير فضولنا الفكري، فتتّجه بنا في النّهاية إلى ما وراء الكون نفسه، حيث إنّ كوكباً معزولاً سيكون قفصاً كونيّاً. ولن يكون هناك إلا النَّزَر لنكتشفه وليلهمنا ويسحبنا من أنفسنا، ليدفعنا إلى أنّ نقدّر أنّ وجودنا يحقّق اتّزاناً على شفْرة دقيقة.

لو لم تكن هناك أيّ عناقيد مجرّية أخرى، لما أمكن لإدوين هابل أبداً أن يستشفّ توسّع الكون من درجات اللّون المتورّد للمجرّات البعيدة. إنّ التّجاذب الثّقالي بين المجرّات داخل جوارنا المجرّي القريب، المجموعة المحلية، يطغى على ملامح التوسّع الكوني القابلة للكشف. وإذا افترضنا مراقباً يعيش في كون يحتوي فقط على عنقود العذراء الكثيف سيفشل أيضاً في اكتشاف قانون هابل. على مستوى عنقود العذراء العظيم، الذي يضمّ المجموعة المحلية وعنقود العذراء، الكشف عن التوسّع الكوني أمر ممكن رغم بقاء تأثير الجاذبية. ولا يكون التوسّع الكوني مهمّاً بما فيه الكفاية للتّغلب بقدر كبير على قوّة الجاذبية وضجيج «السّرعة الخاصّة» (peculiar velocity) للمجرّات القريبة إلّا فوق مستوى العناقيد المجرّية. بشكل عام، كلّما كان بإمكاننا أخذ عينات على المجرّات، كان تحديدنا لثابت هابل أكثر ضبطاً.

وبالمثل، لو كنا نوجد في المستقبل البعيد، ما كنا لنكشف عن إشعاع الخلفية الكونية، الخط المحوري في اتخاذ القرار بين نموذجي الحالة الثابتة والانفجار العظيم للكون. لقد أجبر هذان الدليلان المعاصران، خلافاً لتفضيلاتهم الفلسفية، على التفكير في الفكرة الصادمة أن للكون بداية بالفعل.

وعادة ما صاغ العلماء المبدأ الكوبرنيكي باعتبار قابلية القياس. فمثلاً، يعرفه **ستيوارت كلارك** على هذا النحو: «حجر أساس في كل نموذج للكون: ينص على أنه لا توجد أية مواقع مميزة للمراقبة في الكون. بعبارة أخرى، نحن نرى من الأرض كل ما يمكن أن يرى من أي مكان آخر داخل الكون»[(١)] حسناً، أكان حجرَ أساس أو لم يكن، فمن الواضح أنه خاطئ بالنسبة لموقعنا وزماننا. إذا جلسنا فوق نجم نيوتروني قبل عشرة مليارات سنة، فإن الكون سيبدو مختلفاً تماماً. وإذا كنا حاليّاً ندور حول عملاق أحمر في وسط مجرة إهليلجية، فسيكون هناك الكثير مما لن نكون قادرين على رؤيته (بل كنا لنكون ميتين أيضاً، لكننا سنغض النظر عن هذا الآن). لا يزال، يمكن في الخلفية انطباع بأنه ما دامت الأرض وسكانها جزءاً صغيراً جدّاً بالمقارنة مع الكون أكمله، فهي تمثل شيئاً تافهاً. وهذا حدس متجذر. حتى أن المزمور

---

(١) هذا هو تعريفه «للمبدأ الكوني»، المرادف للمبدأ الكوبرنيكي.

Stuart Clark, Stars and Atoms: From the Big Bang to the Solar System (New York: Oxford University Press, 1995), 23. ويعرف كونراد رودنيكي (Konrad Rudnicki) أيضاً «المبدأ الكوبرنيكي المعمم»، أنه الرأي القائل بأن «الكون يبدو على نفس النحو تقريباً بالنسبة لأي مراقب يقع على أي كوكب آخر».

The Anthropic Principle as a Cosmological "Principle," *The Astronomical Quarterly* (1990): 121.

يصف الفيزيائي ريتشارد فينمان (Richard Feynman) المبدأ أيضاً، والذي يسميه «الفرضية الكبرى التي يقيمها تقريباً كل اختصاصي بعلم الكون»، من حيث انتظام هيئة الكون في كل موقع. في:

Feynman Lectures on Gravitation (Reading, Mass.: Addison Wesley, 1995), 166.

وهو أيضاً يدرك ضعفه:

إنها فرضية اعتباطية تماماً، بحسب فهمي لها... وأظن أن افتراض انتظام الكون يعكس حكماً مسبقاً تمخض عن سلسلة الإسقاطات للأفكار حول مركزية الأرض... سيكون من المحرج أن نجد بعد أن صرحنا بأننا نعيش في كوكب عادي حول نجم عادي في مجرة عادية، أن مكاننا في الكون استثنائي، سواء كان في المركز أو في مكان مع أصغر كثافة، أو في غيره. ولتفادي هذا الإحراج فإننا نتمسك بفرضية الانتظام.

الثامن من سفر المزامير من العهد القديم يعبر عنها في لغة لاهوتية:

عندما أرى سماواتك، من عمل أصابعك،
والقمر والنّجوم التي أرسيتها في مكانها،
من هو الإنسان حتّى تحرص عليه؟
وابن آدم حتّى تهتم به؟ (مزمور ٨: ٣ ـ ٤، NIV)

وطبعاً بمجرد أن يصبح هذا الانطباع حجة، فيستبان أنه لا يشتمل على شيء من ذلك. الحجم الفيزيائي بالكاد يكون مؤشراً يعتمد عليه لتقييم الأهمية. يقوم عمال المناجم بتمحيص أطنان الصخور لاكتشاف ماس صغير واحد. فهم يطرحون أطنان الصخور ويحافظون على الماس. بالإضافة إلى ذلك، وكما ناقشنا في الفصل العاشر، يمكن للمرء أن يجادل أيضاً أنه (أو الأرض) ينبغي حقّاً أن نكون مهمين، بما أننا نقع قريباً جدّاً من الوسط على سلم الحجم الممتد من الكواركات إلى الكون[١] إن هذا النوع من التفكير المزدوج لا يوصلنا لأي مكان. ومع ذلك، فمن الجيد أن نذكر أنفسنا بأننا لا نستطيع الإجابة على مثل هذه الأسئلة بالنظر إلى مقارنات الحجم؛ لأن الإجابات ستتوقف على عوامل أكثر خفاءً.

ماذا يعني ذلك؟

بما أن الكثيرين استخدموا المبدأ الكوبرنيكي كحجة للمادية ـ وهي الفكرة القائلة: إن الكون الفيزيائي (غير المقصود) هو كل ما هنالك ـ يمكن للمرء أن يشك في أن الحجج ضد المبدأ الكوبرنيكي ستحسب ضده تلقائيّاً. لكن كما تدين تدان، أليس كذلك؟ حسناً، المسألة أكثر تعقيداً. فهي ليست معضلة بسيطة ذات قرنين؛ لأن بحوزة الذين يرفضون المبدأ الكوبرنيكي خياراً

---

(١) يقدر قطر الكوارك بحوالي ١٠ ـ ١٦ متر. ويقدر طول الإنسان البالغ بحوالي مترين. يبلغ قطر الأرض حوالي ١٠٧ متر. تقدر المسافة بين الأرض وأقرب نجم بحوالي ١٠١٧ متر. والكون المرصود حوالي ١٠٢٦ متر. انظر:

"Scale of the Universe" in Clark, Stars and Atoms, 76-77.

آخر. فربما يستنتجون أن أصل وتطور الحياة مجرد حوادث نادرة من الناحية الفلكية. ربما الحياة قشرة رقيقة على بقعة معزولة من الغبار في متسع آخر غير ذي أهمية، من الفضاء والزمن والمادة والطاقة. ولكن قبل أن نعتبر هذه الإمكانية، وما قد يحتسب ضدها، دعونا نبحث مظهراً شائعاً وأكثر إثارة للانتباه مبدئيّاً، للمبدأ الكوبرنيكي ـ ألا وهو البحث عن الذكاء خارج كوكب الأرض.

الفصل الرابع عشر

سيتي (SETI) والكشف عن المبدأ الكوبرنيكي

«لا شيء في الكون هو الوحيد من نوعه...
يجب أن يكون هناك عدد لا حصر له من العوالم وسكانها».

ـ لوكريتيوس (٩٨ ـ ٥٥ قبل الميلاد)،
عن طبيعة الأشياء (De rerum natura)

ادخل الإي. تي، المسرح يساراً:

كان لا بدَّ أن يحدث. وبمجرد أن اقترح **كوبرنيكس** أن الأرض كوكب، وأن الكواكب الأخرى كانت أيضاً أماكن حقيقة لا مجرد نقط، كان من المؤكد أن يسأل شخص ما: إن كانت هذه الكواكب معمورة مثل كوكبنا. وبالطبع، كان النقاش حول العوالم الأخرى موضوعاً للتأملات الفلسفية منذ فجر التاريخ المسجل[١] لكنها الآن بدأت ترسو على أرض الواقع.

ونظراً للمعرفة المحدودة بالكواكب الأخرى في النظام الشمسي، كان الاستدلال طبيعيّاً. فقد تصور **كبلر** سكاناً على سطح القمر، وكذلك **وليام هيرشل** (William Herschel). فكانت هناك «القنوات» المريخية التي تحدث

(١) للاطلاع على دراسة استقصائية جيدة، انظر ستيفن:
Steven J. Dick, Plurality of Worlds: The Origins of the Extraterrestrial Life Debate from Democritus to Kant (Cambridge: Cambridge University Press, 1982).

للاطلاع على دراسة تفصيلية لتطور الفكرة من كانط إلى القرن العشرين، انظر:
Michael J. Crowe, The Extraterrestrial Life Debate 1750-1900: The Idea of a Plurality of Worlds from Kant to Lowell.Cambridge: Cambridge University Press, 1986

عنها **شياباريلي** واتخذها **لويل** لتكون مواقع بناء على المريخ - «مجازٍ».

وفي وقت متأخر من الخمسينات، اعتقد البعض أن المريخ كان يستضيف حياة نباتية[1] وانتهت سلسلة من الاكتشافات في أواخر القرن العشرين إلى فكرة أنه لا توجد حياة ذكية في أي مكان آخر داخل نظامنا الشمسي غير الأرض. ورغم ذلك، فإن أمل العثور على حياة خارج كوكب الأرض ما زال يعيش على الخيال العلمي الشائع. وما إن رسخت الفكرة حتى أحدثت قفزة سلسة من نظامنا الشمسي إلى الشموس الأخرى ذات كواكب معمورة أخرى. يبدو أن جوارنا الكوكبي قاحل، لكننا نقول اقتباساً للجملة الافتتاحية من **دليل المسافر إلى المجرة**. «الفضاء... كبير. كبير حقّاً»[2] وكبره هذا يسوق إلى التأمل.

وبحلول أواخر القرن العشرين، انتشر الاهتمام والاعتقاد بالحياة خارج كوكب الأرض في المجتمع الغربي. وقد ظهر الذهول لأول مرة في عالم الأدب في بداية القرن من خلال كتاب مثل **ويلز**، الذي ساهم في تبشير النوع الأدبي الجديد للخيال العلمي. ومع أنه انتقل مع ظهور وسائل الإعلام الشائعة مثل الراديو، وخاصة الصور المتحركة والتلفزيون، أصبح هذا الذهول قوة ثقافية جماهيرية حقيقية. لقد أثارت تمثيلية إذاعية واقعية على نحو مرعب سنة ١٩٣٨م التي اقتبسها **أورسون ويلز** (Orson Welles) عن «حرب العوالم» **لـويلز** (H. G. Wells)، التي وصفت غزو قوات مريخية معادية، ذعراً غير مقصود على الصعيد الوطني. ومنذ الستينات، أصبحت حياة الكائنات الفضائية أحد المواضيع الأكثر شيوعاً في مجال الترفيه. من العمل الكلاسيكي لآرثر كلارك وستانلي كوبريك عام ١٩٦٨م «٢٠٠١: ملحمة الفضاء»، إلى «ستار تريك»،

---

(١) Steven J. Dick, Life on Other Worlds: The 20th-Century Extraterrestrial Life Debate (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 54.

هذا الكتاب هو اختصار لكتاب مطول جدّاً يدافع عن نفس الأطروحة، بعنوان The Biological Universe. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

(٢) Douglas Adams, The Hitchhiker's Guide to the Galaxy (New York: Pocket Books, 1979), 76.

«حرب النجوم»، «لقاءات قريبة من النوع الثالث»، «الفضائي» وأجزائه الثلاثة اللاحقة، «إي. تي.»، «رجال ذو بزات سوداء»، «يوم الاستقلال»، و«الملفات السرية»، أصبحت الكائنات الفضائية تسكن الوعي الحديث بقدر ما كانت الملائكة والشياطين تسكن الوعي في القرون الوسطى. وساهم التقدم التكنولوجي، خاصة بعثات أبولو والهبوط على سطح القمر من سنة ١٩٦٩م إلى ١٩٧٣م، في إلباس الموضوع هالة الواقعية، وكنتيجة، أشارت استطلاعات الرأي الأخيرة إلى أن أكثر من ستين في المئة من الأميركيين يؤمنون بحياة من نوع ما خارج كوكب الأرض[١] وكنا أيضاً جزءاً من تلك الأغلبية لسنوات.

وقد صاحب هذا الذهول المتزايد بشأن الحياة الفضائية الغريبة زيادة التقارير عن مشاهد الأجسام الطائرة المجهولة (أو اختصاراً يو إف أو UFO) (مع فرض أنها تأتي من خارج كوكب الأرض)، وأشياء من صنع الكائنات الغريبة كدوائر المحاصيل، اللقاءات الفضائية، وكذا «الاختطافات الفضائية». في كثير من الحالات، كان من السهل أن نرى نغمات شبه دينية تتخلل هذا[٢] وتشير بعد المنشورات كمجلة يو إف أو إلى أنصار زيارة الغرباء الفضائيون «كمؤمنين». في الأوساط العلمية الأكثر انتشاراً، أصبح الاعتقاد بالحياة خارج كوكب الأرض سائداً جدّاً حتى وصفها مؤرخ الفلك والعلوم ستيفن ديك بأنها أسطورة عصرنا المهيمنة، التي ترمز لما يسميه «الكوسمولوجيا البيوفيزيائية» الجديدة[٣]

---

(١) ووفقاً لاستطلاع أجرته مؤسسة غالوب مؤخراً (Darren K. Carlson, "Life on Mars?" Gallup News Service, Feb. 27, 2001)، قال ٦١ في المئة ممن شملهم الاستطلاع: «إنهم يعتقدون أن أشكالاً أخرى من الحياة قد وُجدت في الكون، و٣٣ في المئة لم يقولوا بذلك. وعندما سئلوا عن شكل معين للحياة خارج كوكب الأرض، قال ٤١ في المئة من الأميركيين: إنهم يعتقدون أنه يمكن أن يكون هناك «بشر يشبهوننا بشكل ما يعيشون على كواكب أخرى في الكون» في حين أن ٥٤ في المئة لم يعتقدوا ذلك».

(٢) انظر:
Dick, Life on Other Worlds, 164-165.

(٣) Dick, *Life on Other Worlds*, 3, 261-266.

فقدان المفارقة:

لا شيء من هذا، طبعاً، يضعف الفكرة. وإذا كان من السهل استبعاد اختطافات الكائنات الفضائية على أنها خيالات أو أوهام، فالسؤال عما إذا كانت توجد هناك حياة خارج كوكب الأرض خصوصاً حياة ذكية، سؤالاً منطقياً طبعاً. وإشكاله الرئيسي، في الوقت الراهن، أنه لا دليل لدينا بشأنه. فالقضية أكثر من مجرد ملاحظة. إذا تم تدعيمها، تصبح حجة رهيبة ضد وجود ذكاء خارج الأرض (ETI)، والتي عادة ما تسمى بمفارقة فيرمي. في عام ١٩٥٠م، توجه الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل إنريكو فيرمي (١٩٠١ - ١٩٥٤م) إلى زملائه في لوس ألاموس في نيو مكسيكو ليسألهم قائلاً: «إذا كان هناك كائنات خارج الأرض؛ فأين هي؟»[١] وحجته هذه - وهي ليست مفارقة حقّاً إلا إذا كنت تفترض بوجوب وجود كائنات خارج الأرض - بسيطة. إذا كان هناك العديد من الحضارات الذكية الأخرى كحضارتنا في درب التبانة، فمن المؤكد أنه كان سيكون لبعضهم الأسبقية علينا. وكانوا ليخرجوا في النهاية من الغرفة أو يواجهوا أخطاراً محلية أو أن ينازعهم الفضول ببساطة، سيحفز على الهجرة.

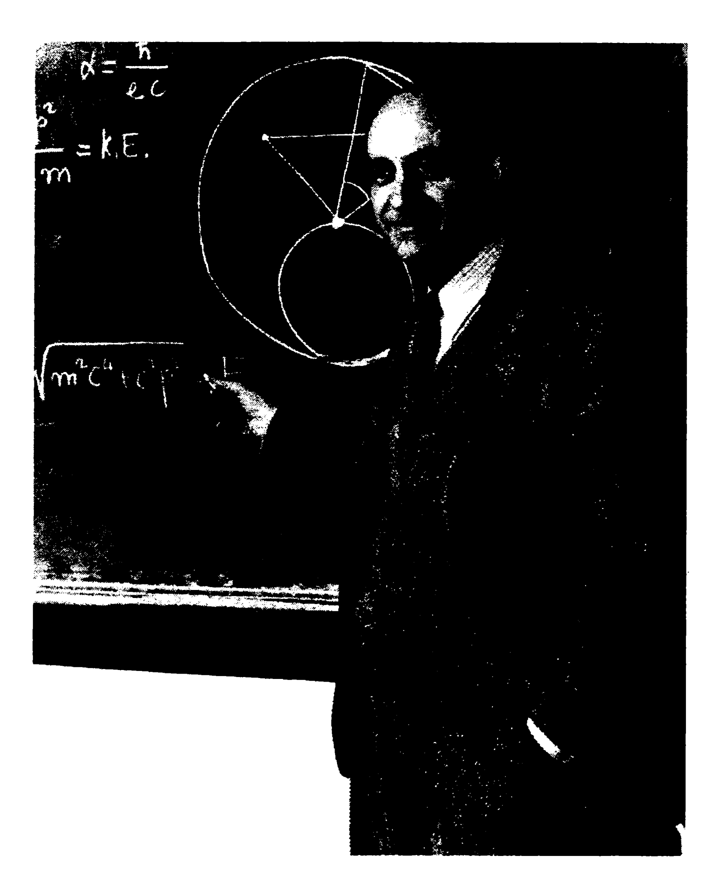
وفي غضون بضعة ملايين من السنين - مجرد لمحة على المقاييس الزمنية للمجرة - تكون قد استعمرت بقية المجرة أو - كما جادل البعض لاحقاً - أرسلت روبوتات ذاتية النسخ[٢] (self-replicating). وستستهدف الأنظمة القابلة للسكن، وتستعمر الكواكب الأخرى الصالحة للسكن، وتعيد تأهيل (terraform) القريبة منها، أو تعدين الكويكبات. ومع أن عمر مجرتنا قد يقدر باثنتي عشر مليار سنة، فليس يوجد أثر لاستعمار كهذا، لا في الحاضر ولا في الماضي.

والنتيجة المنطقية: ليسوا هنا لأنهم غير موجودين.

---

(١) Dick, *Life on Other Worlds* 218-221.

(٢) Frank Tipler, "A Brief History of the Extraterrestrial Intelligence Concept," *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 22 (1981), 133-145. Frank Tipler, "Additional Remarks on Extraterrestrial Intelligence," *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 22 (1981), 271-291.



● **الشكل ١٤,١: إنريكو فيرمي (١٩٠١ ـ ١٩٥٤م).**

لاحظ أن فيرمي استخدم لمسة من المنطق «الكوبرنيكي»؛ إذ افترض أنه إذا كان يوجد عدد كبير من الحضارات المتقدمة، فربما لن نكون الأوائل في الساحة. وهذا منعطف مثير للاهتمام؛ لأن أكثر العلماء الذين يؤمنون بوجود الحضارات خارج الأرض اكتسبوا الإلهام أيضاً من المبدأ الكوبرنيكي. (يصبح المبدأ الكوبرنيكي معقداً نوعاً ما عندما يدخل المجال البيولوجي كما سنرى، وهو في الحقيقة، يكشف بذلك عن نفسه بشكل أكبر).

يذكّرنا سؤال فيرمي بأنّنا لا نملك أي دليل متاح بشكل صريح على أي نوع للحياة في أي مكان آخر غير الأرض. وواضح أن هذه ليست حجة قاطعة[١]؛ لأنّ غياب الأدلة ليس بالضّرورة دليلاً على الغياب (وقد يكون

(١) لكننا نعتقد أنها حجة قوية. انظر:

كذلك). يقدّم المعتقدون بالذّكاء خارج كوكب الأرض ردوداً كثيفة على سؤال **فيرمي**. ربما يكون السّفر بين النجوم حاجزاً أكثر ممّا نفترض، أو أنّ الغرباء الأذكياء ليسوا المستعمرين القدماء الذين افترضهم **فيرمي**. ربّما مرّت موجة الاستعمار بجانبنا(١) أو أنّهم بارعون جدّاً في الاختباء، أو متقدِّمون جدّاً حتى ما عادوا يستخدمون الاتّصالات اللّاسلكية أو ينتجون البصمات الرّاديوية القابلة للاكتشاف، أو أنّهم قاموا بحجْرنا كطبيعة مَحميّة(٢) ربّما حاكى **بيل واترسون** (Bill Watterson) على سبيل السّخرية وبلا قصد تلك الرّدود في قصصه المصوّرة الهزلية «كالفن وهوبز» (Calvin and Hobbes)؛ حيث يقول كالفن: «إنّ آكد علامة على وجود الحياة الذّكية في مكان آخر في الكون هو أنّها لم تحاول أبداً أن تتّصل بنا».

= G. Gonzalez, "Extraterrestrials: A Modern View," *Society* 53, no. 5 (July/August 1998): 14-20. For an interesting survey of the debate, see the essays in B. Zuckermann and M. H. Hart, ed., Extraterrestrials: Where Are They? (Cambridge: Cambridge University Press, second edition, 1995).

لاحظ أن معظم المتشككين هم علماء الأحياء. تعد المجلة البريطانية لعلم الفلك والجيوفيزياء إحدى المجلات العلمية القليلة التي ظلت متوازنة في معالجتها لهذا الموضوع، بنشرها مقالات للمدافعين والنقاد. (وقد أصبحت العديد من المجلات الأخرى مدافعة منحازة). انظر:

I. A. Crawford, "How Common Are Technological Civilizations?" Astronomy and Geophysics 38, no. 4 (1997): 24-26; T. Joseph, W. Lazio and James M. Cordes, "The Number of Civilizations in our Galaxy," *Astronomy and Geophysics* 38, no. 6 (1997): 16-18; I. A. Crawford, "Galactic Civilizations: A Reply," *Astronomy and Geophysics* 38, no. 6 (1997): 19.

(١) من غير المحتمل أن يحل هذا الرد مفارقة فيرمي نظراً للأدلة التي نعرضها في هذا الكتاب. إذا كانت الكواكب الصالحة للحياة كالأرض نادرة كما نقول، فإن الأرض ستكون قريبة من المرتبة العليا على قوائم المستعمرين المستهدفة. بالإضافة إلى ذلك، سيكون لدى أي حضارة ترتاد الفضاء التكنولوجيا لمسح أي نجوم قريبة، لِوجود الكواكب الأرضية والعملاقة. وبما أن الأرض كانت مأهولة بحياة بسيطة نسبيّاً خلال معظم تاريخها، فربما يكون هناك بعض الحَفْز لحجرها. لذلك فمن غير المرجح أن موجة من الاستعمار قد مرت بجوار الأرض سهواً أو قصداً.

(٢) للاطلاع على نظرة عامة على مثل هذه الردود، انظر:

David Brin, "Mystery of the Great Silence," in Are We Alone in the Universe?: The Search for Alien Contact in the New Millennium (New York: ibooks, 1999), 139-157.

والإشكال الجاد الذي يشوب معظم هذه الردود أنها معقولة فقط إذا كانت توجد ـ نسبيّاً ـ قلة من الحضارات الغريبة. لكن هذا يناقض وجهة نظر معظم المؤمنين بالإيتي بأن هذه الحضارات وفيرة. للاطلاع على المناقشة، انظر:

Ian Crawford, "Where Are They?: Maybe We Are Alone in the Galaxy After All," *Scientific American* (July 2000), 29-33.

والرّدود متنوّعة جدّاً، وبعيدة الاحتمال أحياناً حتى أن المرء يتساءل عما إذا كان الاعتقاد بالذّكاء خارج كوكب الأرض، بالنسبة للبعض ليس أمراً غير قابل للتفنيد. ومع ذلك لا يوجد سبب لافتراض أنه لا يمكن تطبيق المناهج العلمية على هذا السؤال. ومن المؤكد أنه يمكن لبعض الأحداث أن تتحقق من صحة ذلك. (وهنا يتبادر إلى الذهن المشهد الافتتاحي لفيلم «يوم الاستقلال»). إن التحقق الواضح هو بالتحديد أمل مشروع (SETI). ومع أن المبدأ الكوبرنيكي يتخذ من علم الكونيات وعلم الفلك موطناً له، إلا أن تعبيره الحالي الأكثر شيوعاً يقع في تقاطع علم الفلك وعلم الأحياء الذي يسمى عادة بعلم الأحياء الفلكي، وخاصة في السيتي[١]

البحث في السماوات:

قام باحثو السيتي الأوائل مثل عالم الفلك الراديوي **فرانك دريك** (Frank Drake) في وقت ما بإرسال إشارات لاسلكية إلى الفضاء على أمل أن تعترضهم حضارة غريبة. لكن معظم الباحثين الآن يقضون أوقاتهم في محاولة التقاط الإرسالات (الضوء المرئي في الآونة الأخيرة)[٢] الرّاديوية المقصودة وغير المقصودة من الكائنات الغريبة خارج الأرض. ويأملون باستخدام مصفوفات متطورة من التلسكوبات الراديوية والبرامج الإليكترونية لتمييز الأنماط، وفصل الإشارات الذكية (إن ظهر أيٌّ منها) عن الضجيج الراديوي في الخلفية التي تتخلل الكون.

---

(١) وقد أدركت قلة هذه النقطة بشكل واضح، لكن عالم الكواكب كريستوفر ماكاي (Christopher P. McKay) يلمح إلى ذلك في:

Astrobiology: The Search for Life Beyond the Earth," Many Worlds: The New Universe, Extraterrestrial Life & the Theological Implications, Steven J. Dick, ed. (Philadelphia: Templeton Foundation Press, 2000), 56.

من الواضح أن البحث عن الحياة خارج الأرض يقوم على افتراض أن تجربتنا للحياة على الأرض نموذجية بالنسبة للكون ـ المبدأ الكوبرنيكي. . . لقد أسس المبدأ الكوبرنيكي فقط للنجوم والعناصر. . ولم يؤسس لأجل البيولوجيا أو الثقافة أو الأخلاق. فالسؤال «هل نحن وحدنا؟» في هذا السياق، سؤال فلسفي عميق.

(٢) Tom Clarke, "SETI Sees the Light: Alien Hunters Look for Light Signals from Other Worlds," Nature News (July 25,2001).

وكما هو الحال في كل بحث، فرضت الموارد المحدودة[١] بعض الانضباط على السيتي. وبما أنها تتطلب وقتاً تلسكوبيّاً مكلفاً، أراد باحثو السيتي أن يوجّهوا تليسكوباتهم الرّاديوية صوب نظام نجمي مع احتمال استضافة حياة ذكية. ولكي نظفر بالفائدة من هذا السؤال، وضع **فرانك دريك** معادلة تعرف الآن باسم **معادلة دريك**. واقترحها لأول مرة في اجتماع سنة ١٩٦١م كطريقة بسيطة لحساب عدد الحضارات المتقدمة في مجرة درب التبانة القادرة على التواصل مع إشارات الراديو[٢] لم يكن غرض **دريك** من وضع المعادلة تحديد احتمالات وجود الذكاء خارج الأرض عموماً؛ بل تحديد احتمالات التقاطنا للاتصالات اللاسلكية من الكائنات الغريبة خارج الأرض. ومع ذلك فهي تستطيع، مع بعض التعديلات، أن تتصدى للسؤال العام كذلك.

قد تبدو معادلة دريك مخيفة لغير المطلع، لكن فهمها لا يتطلب شيئاً أكثر تعقيداً من الإلمام بالضرب والكسور بمستوى الصف الثالث. ورغم أن

---

(١) التمويل العام لبحوث السيتي يتزايد ويتناقص باستمرار. وقد دعمت الحكومة الفيدرالية أبحاث السيتي لسنوات من خلال وكالة ناسا، لكن هذا التمويل تم إغلاقه سنة ١٩٩٢م. وفي الوقت الحالي، يتم دعم معظم الأعمال المباشرة للسيتي، كالتي قام بها معهد السيتي، من مصادر خاصة. ومع ذلك تواصل الناسا في دعم برامج علم الأحياء الفلكي في عدد من المؤسسات، وكلها متعلقة بالسؤال العام عن الحياة الخارجية. وفي عام ٢٠٠٣م، تلقى معهد السيتي منحة كبيرة من معهد ناسا الممول اتحادياً للأبحاث الفلكية.

(٢) عُقد الاجتماع في المرصد الوطني لعلم الفلك الراديوي (NRAO) في غرين بانك، بفرجينيا الغربية. لمناقشة عن المعادلة، وآخر أفكار دريك حول هذا الموضوع، انظر:

Frank Drake and D. Sobel, Is Anybody Out There?: The Scientific Search for Extraterrestrial Intelligence (New York: Delacorte Press, 1992).

وقد سبق لدريك أن أجرى بحثاً مبكراً في NRAO يدعى مشروع أوزما (OZMA). وبشكلٍ مستقلٍّ، نشر الفيزيائيان من جامعة كورنيل فيليب موريسون (Philip Morrison) وجوسيبي كوكوني (Giuseppe Cocconi) ورقة بحثية بعنوان "Searching for Interstellar Communications," Nature 184 (1959): 844-846، حيث يقومان بنفس الحسابات التي قام بها دريك. والأدبيات حول هذا الموضوع واسعة جدّاً. للاطلاع على وصف موجز وودي للتفاصيل التاريخية، انظر: .Dick, Life on Other Worlds, 200-235 للاطلاع على وصف لتنوع التقديرات التي عينها مختلف علماء الفلك لمعادلة دريك، انظر:

Dick, Life on Other Worlds, 217, and Dick, The Biological Universe, 441.

بعض الرموز قد تغيرت على مر السنين[١]، إلا أن هذه هي نسختها الأكثر وضوحاً:

$$N = N^* x f_p x n_e x f_l x f_i x f_c x f_L$$

حيث يمثل خارج المعادلة N، العدد الإجمالي للحضارات التكنولوجية التي تتواصل لا سلكيّاً في درب التبانة في أي وقت من الأوقات. ينتج الخارج بضرب العدد الإجمالي للنجوم في المجرة (N^*) في نسبة (fraction) النجوم ذات الأنظمة الكوكبية (f_p) في عدد الكواكب الصالحة للحياة في كل نظام (n_e يرمز e إلى «الشبيهة بالأرض» (Earth-like) في نسبة الكواكب الصالحة للحياة التي تنبثق عليها الحياة من المادة غير العضوية أو المركبات الكيميائية الأولية العضوية (f) في نسبة تلك الكواكب التي تنشأ فيها الكائنات الذكية (f) في تلك الكواكب التي تظهر فيها تكنولوجيّاً الاتصالات الكافية (f_c) في نسبة متوسط العمر الكوكبي الذي توجد خلاله حضارة متقدمة (f_L). الأمر بسيط.

وبما أن كل عامل f رقم محصور بين ٠ و١، فإن خارج المعادلة سيكون أقل بكثير من العدد الإجمالي للنجوم الملائمة في المجرة (N^*). ثم إن العديد من المتغيرات مجهولة؛ لذا فالأرقام التي ندرجها تعتمد بشكل وثيق على الافتراضات التي نربطها بهذه المشكلة. وإننا لا نملك أكثر من مجرد تخمين علمي تقريباً في كثير من الحالات، ومع ذلك فإن الخوض في المعادلة يساعد على إيضاح مجموعة من العوامل التي تحتاجها بيئة واحدة لاستضافة الحياة. (بالنسبة للفضولي، نقدم في الملحق (أ) نسختنا المنقحة لمعادلة دريك).

---

(١) إن تاريخ المعادلة معقد بعض الشيء. كانت معادلة دريك الأصلية مختلفة قليلاً عن هذه المعادلة. إذ استخدم R بدلاً من N* وL بدلاً من fL. تمثل R معدل تشكل النجوم في المجرة، وتمثل L متوسط عدد السنوات التي تعيش خلالها حضارة متواصلة. انظر:

http://www.activemind.com/Mysterious/Topics/SETI/drake_equation.html.

للاطلاع على حاسب يستخدم نسختنا، وhttp://www.seti.org/ science/drake-bg.html لوصف معهد السيتي.

Nothing is necessary for habitability — Kepler, H. G. Wells, Percival Lowell — SETI — Rare Earth — Privileged Planet — Everything is necessary

● **الشكل ١٤,٢:** على خط يمثل جميع الآراء الممكنة حول صلاحية الحياة، يشغل النقاش المعاصر حول تردد الكواكب الصالحة للحياة في الكون حيِّزاً صغيراً جداً. ومن المعلوم أن الحياة تتطلب شروطاً محددة، غير شائعة مقارنة بالحجم الكلي للكون، أو حتى العدد الإجمالي للنجوم والكواكب (والحضارات) الصالحة للحياة. يدور النقاش حول عدد العوامل اللازمة للحصول على كوكب صالح للحياة، وبالتالي، مدى ندرة هذه الكواكب.

فكِّر في شروط صلاحية الحياة منتشرة على خط مرقم، مع آراء مختلفة تمثلها نقاط على الخط. تمثل أبعد نقطة على اليسار الرأي القائل بأنه لا يوجد شيء خاص بشأن الأرض، بيئتها المحلية، درب التبانة، وعدد وأنواع المجرات، وحجم وعمر الكون، وقوانين الفيزياء ككل. وإن كانت هذه كافية لصلاحية الحياة الحالية على الأرض، فليس منها ما هو ضروري. هناك عدد لا حصر له من المسارات الأخرى الكافية التي لها نفس النتيجة: حياة ذكية معقدة. تمثل أبعد النقطة على اليمين الرأي القائل بأن كل شيء يتعلق بكوننا، محلياً وعالمياً، ضروري لوجودنا. فنحن لا نعتمد فقط على دقة قيمة الجاذبية وكوكب أرضي؛ بل أيضاً على العدد الدقيق للذرات التي تشكل كوكب عطارد ودرجة الحرارة على غازي عملاق يدور حول نجم في مجرة أندروميدا. الآن، وعلى حدِّ علمنا، لا أحد يدافع بجدية عن أي من هذه المواقف المتطرفة. والنقاش برمته يتخذ مكاناً ما عن يمين المركز.

مقارنةً بالتحمس للإي. تي. قبل مضي قرن، في الواقع، يمكننا أن نلقي النقاش الحالي كسؤال: ما مدى **ندرة** الكواكب الصالحة للسكن والحياة المعقدة في الكون؟ في الستينات من القرن الماضي، قام **كارل ساجان** بتقدير متفائل أن وجود مليون حضارة في درب التبانة أمر ممكن. لكن حتى هذا يعني: أن واحداً فقط في مائة ألف نظام نجمي يحتوي على الكائنات الغريبة خارج الأرض ـ وهي نسبة مئوية صغيرة. وعلى أي حال، فإن ما نريد معرفته هو **كم** يلزم لوجودنا محلياً وعالمياً، ووجود أشكال الحياة المعقدة المشابهة لحياتنا. على خط صلاحية الحياة، يوجد معظم باحثي السيتي على يسارنا ومع ذلك فهم على يمين المركز.

تتميز معادلة دريك بصفتين بسيطتين: فهي تقيد البحث بالحياة القائمة على الكربون وتتطلب أن يكون الكوكب الصالح للحياة محافظاً على المياه السائلة على سطحه، وهي ـ كما ناقشنا ـ اقتراحات معقولة لا مجرد إخفاقات خيالية. وإضافة لذلك فهي تأخذ بعين الاعتبار بعدد الحضارات في درب التبانة فقط، ذلك أنه حتى مجرة أندروميدا، أقرب مجرة كبيرة لنا، تبعد بمليوني سنة ضوئية. سيكون من الصعب جدّاً إن لم يكن من المستحيل التقاط الإشارات الراديوية من كواكب معزولة بعيدة بمثل هذه المسافة، ناهيك عن أن أي إشارات نلتقطها ستكون قديمة بمليوني سنة. وإذا أردنا أن نقدر احتمال وجود حضارات أخرى خارج درب التبانة، فسيكون علينا إضافة متغير آخر: وهو عدد المجرات (الصالحة للحياة) في الكون.

ورغم أن المعادلة تضفي شيئاً من الواقعية على النقاش الدائر حول الحياة خارج كوكب الأرض، فإنه من السهل الكشف عن تحيز معظم باحثي السيتي[١] يبلغ عمر معادلة دريك الآن أربعين سنة، لكن لم تكن حتى وقت قريب سوى أول مصطلح على ملاحظات فعلية لا تقتصر على نظامنا الشمسي. لكن هذا الاقتصار لم يمنع باحثي السيتي من افتراضهم أرقاماً مستبشرة للمتغيرات[٢]

ثم إنّها تهوّن من تعقيد المشكلة؛ لأن كل عامل هو في الحقيقة نتاج معادلة خفية أخرى. فمثلاً: n_e، متوسط عدد الكواكب الصالحة للحياة في كل

(١) ومع أن السيتي تسعى للحصول على أدلة تجريبية، لا ينبغي للمرء أن يفترض أن باحثي السيتي يمسكون استنتاجاتهم حتى تكون حمالة للأدلة؛ بل على العكس من ذلك، فمعظمهم واثقون من وجود الإيتي. إنهم فقط يحاولون إثبات ذلك. ويراه فرانك دريك مثلاً، على أنه على يقين، كما يفعل معظم متحمسي السيتي. انظر: مناقشة دريك الخاصة للتفاؤل المشاركين في اجتماع البنك الأخضر الأصلي في: .Drake and Sobel, Is Anybody Out There?, xi, 45-64 انظر أيضاً:

David Koerner and Simon LeVay in Here Be Dragons: The Scientific Quest for Extraterrestrial Life (Oxford: Oxford University Press, 2000), 162.

(٢) D. Schwartzman and L. J. Rickard, "Being Optimistic About SETI," Bioastronomy: The Next Steps, George Marx, ed. (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988),305.

للاطلاع على مثال حديث لتقييم متفائل على نَحْوٍ غير واقِعي لمعادلة دريك، انظر:

The Drake Equation," *Astronomy* (September 2002), 47.

نظام، يعتمد على عوامل كثيرة، تتراوح من معدنية نجم مضيف إلى حجم الكواكب وهيئة النظام الشمسي. وكلما اكتشفنا المزيد عن متطلبات صلاحية الحياة، تقترب قيم المعادلة من الصفر. وكما قال مرة مؤيد السيتي **برنارد أوليفر**: إن معادلة دريك، رغم واجهتها الرياضية «وسيلة لضغط كمية كبيرة من الجهل في مساحة صغيرة»[١]

وقد استمدت السيتي الكثير من الإلهام من المبدأ الكوبرنيكي، الذي يستلزم بالنسبة لأنصار السيتي أن الحياة الذكية خارج كوكب الأرض شائعة نسبيّاً. وهذا واضح في حدسية **كارل ساجان** الشهيرة، باستخدام معادلة دريك، أنه ربما توجد مليون حضارة متقدمة في درب التبانة[٢] فبقيت راسخة ـ بوصفها أكبر قليلاً من مجرد تخمين ـ في المخيلة العلمية والشائعة. ومع ذلك وكما رأينا، فإن الاتجاه الأخير للاكتشافات ووتيرتها زاد من تقديرنا للمتطلبات العديدة للحياة المعقدة وغير الميكروبية.

لم يستطع **دريك** أن يأخذ في الحسبان هذه الاكتشافات بطبيعة الحال، لذلك قلل من شأن الحواجز أمام النجاح. وبما أن معادلته جزء معياري من النقاش، فهي نقطة جيدة للبدء.

النجوم:

تتطلب هذه النسخة لمعادلة دريك العدد الإجمالي للنجوم في مجرة درب التبانة، الذي يقدر بحوالي ١٠٠ مليار. لكن حسب ما ناقشناه في الفصل

---

(١) مقتبس في .Dick, Life on Other Worlds, 217 يقول بروس جاكوسكي على نحو مماثل: إن «معادلة دريك هي مجرد طريقة رياضية لقول، من يدري؟» في:
The Search for Life on Other Planets (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 285.

(٢) يوضح ساجان دَيْنه للمبدأ الكوبرنيكي في كتابه: -Intelligent Life in the Universe (San Francisco: Holden Day, 1966)، الذي شارك في تأليفه عالم الفيزياء الفلكية السوفياتي شيكلوفسكي (I. S. Shklovskii)، في الفصل ٢٥ الذي عنوانه «افتراض الرداءة» (٣٥٧)، يقولان:

لقد ثبت أن الفكرة القائلة بأننا لسنا استثنائيين إحدى الأفكار الأكثر إفادة للعلم الحديث... دعونا نفترض أن الأرض كوكب عادي، وأن الشمس نجم عادي. إذن فقطر الأرض، وبعدها عن الشمس، والألبيدو الخاص بها، أو انعكاسيتها، ينبغي أن تكون سمات للكواكب بشكل عام.

السابع، فهذا ليس عدداً مفيداً جدّاً؛ لأنه لا يبدو أن الغالبية العظمى من النجوم في مجرتنا أنها مرشحة محتملة للحياة. لدخول الملعب، نحتاج إلى تضمين عوامل إضافية. أكثر من ثمانين في المئة من النجوم في درب التبانة هي قزمة حمراء منخفضة الكتلة، والتي ـ كما رأينا ـ ربما تفتقر إلى المناطق الصالحة للحياة. ومن واحد إلى اثنين في المئة نجوم عملاقة زرقاء ضخمة قصيرة الأمد، التي لا تطيل المكوث لفترة طويلة بما يكفي للحياة المعقدة والتكنولوجية. وحوالي أربعة في المئة من النجوم نجوم النسق الأساسي من نوع ـ G الأولي كالشمس.

وبما أننا نعلم أن شمسنا قادرة على دعم الحياة، فإننا نستطيع أن نفترض أن النجوم الأخرى بحجم ونوع شمسنا ستكون صالحة للحياة بالمثل. لكن كما ندرك الآن، يبدو أن نجمنا يحتوي بالضبط على الكمية المناسبة من المعادن التي تحتاجها الحياة، حتى بالمقارنة مع النجوم المماثلة القريبة. فهو يحتوي على ما يكفي من المعادن لبناء كوكب صالح للحياة، لكنه لا يتوفر على أكثر من ذلك مما قد ينتج نظاماً كوكبيّاً غير مستقر مع العديد من الكواكب الضخمة. كما ناقشنا في الفصل الثامن، يمكن للكواكب الضخمة للغاية أن تتحرك بتثاقل وتطفل عبر النظام الكوكبي، مما يقلل احتمال وجود كواكب أرضية في مدارات دائرية مستقرة. بالإضافة إلى ذلك، تولد خمسون في المئة على الأقل من نجوم النسق الأساسي في الأنظمة الثنائية، ومعظمها غير مستضيفة لأسباب مماثلة.

قد يبدو أن هذا ما زال يترك الكثير من النجوم المرشحة، حتى نتذكر أن معظم تلك النجوم لا تشغل النطاق المجري الصالح للحياة (GHZ)؛ حيث تكون أكثر أماناً من اصطدامات المذنبات والإشعاع المعقم، وتحتوي على كميات مناسبة من المعادن لبناء كواكب أرضية بحجم مناسب في مدارات مستقرة ولبناء كائنات عضوية. وهذه فقط العوامل المتعلقة بالنجوم التي اكتشفناها حتى الآن. وبالنظر إلى هذا الاتجاه، توجد أخرى على الأرجح. على أية حال، ومقارنة مع بقية العوامل في معادلة دريك، فإن عملية التكذيب هذه تافهة.

الكواكب الشبيهة بالأرض:

كان اكتشاف الكواكب خارج المجموعة الشمسية دائماً «أحد الكؤوس المقدسة للنقاش حول الحياة خارج كوكب الأرض»[(١)] ومع ذلك فتحديد نسبة النجوم ذات الأنظمة الكوكبية (f_p) في الآونة الأخيرة كان محض تخمين. في الثقافة الفكرية الغارقة في المبدأ الكوبرنيكي، عادة ما تخطئ التقديرات بشدة بشأن شيوع الحياة. وعلى فرض أن نظامنا الكوكبي نظام عادي، توقع العديد من علماء الفلك أن معظم النجوم إن لم يكن جميعها، أو النجوم الشبيهة بالشمس على الأقل، لديك الكواكب. العديد من علماء الفيزياء الفلكية، تتوفر على الكواكب. يستخدم العديد من علماء الفيزياء الفلكية، مثل **فرجينيا تريمبل**، «الحس المشترك» و«النماذج الحاسوبية» ليبينوا أنه «ربما لا يزال يحتوي درب التبانة على ما لا يقل عن ١٠^{١٠} من النجوم التي أمكن أن تؤوي كواكب أرضية صالحة للحياة لأكثر من خمس مليارات سنة»[(٢)] وبعد عقود من الفشل، بدأ البحث الدقيق في السنوات القليلة الماضية بتسديد ديونه أخيراً. ونحن نعلم الآن على الأقل أن بعض النجوم الأخرى الشبيهة بالشمس تتوفر على كواكب.

ومع ذلك فإن هذه الاكتشافات كانت نعمة ونقمة لأنصار السيتي لسببين:

أولاً: نعلم الآن أنه من المرجح أن نظامنا الشمسي ليس عادياً، حتى بمقارنته مع النجوم الأخرى التي يُعرف أنها تضم أنظمة كوكبية؛ حيث إن الخصائص التي تجعله صالحاً للحياة قد تكون نادرة للغاية.

ثانياً: إن نفس الطرق التي اكتشفت الكواكب خارج المجموعة الشمسية

---

(١) Dick, *Life on Other Worlds*102.

وكانت أيضاً مفضّلة لفترة طويلة لدى أنصار المبدأ الكوبرنيكي. في عام ١٩٤٣م، كتب هنري نوريس راسل (Henry Norris Russell) مقالاً عن كوكب مفترض حول ٦١ سيغني عنوانه "Anthropocentrism's Demise"، المرجع نفسه، ٨٢.

(٢) مقتبس من طرف فريد هيرين (Fred Heeren) في:
"Home Alone in the Universe?" *First Things* 120 (March 2002): 38-46.

حول بعض النجوم الشبيهة بالشمس لم تكشف عن الكواكب حول معظم النجوم الأخرى. وبعض هذا الفشل راجع بالطبع إلى حدود طرق الكشف الحالية. ومع ذلك، فإنه يشير إلى أن العديد من النجوم لا تضم كواكب عملاقة.

ليس عندنا المعرفة الكافية حتى الآن لتحديد النسب المئوية، لكن في وسعنا أن نضع بعض الحدود. يبين بحث التطبق العدسي حول الحوصلة المجرّية أن الكواكب العملاقة لا ترافق ما يزيد عن حوالي ثلاثين في المئة من النجوم منخفضة الكتلة في درب التبانة الداخلي(١) واعتباراً من أوائل عام ٢٠٠٢م، قدّر علماء الفلك باستخدام طريقة دوبلر أن أربعة في المئة تقريباً من النجوم الشبيهة بالشمس تضم كواكب عملاقة بحجم المشتري على الأقل(٢) سيقدم لنا البحث في العقود القليلة المقبلة المزيد من الثقة في هذا العامل بالنسبة للكواكب الأرضية والغازية العملاقة.

توضح الفصول من الأول إلى الثامن أنه من المرجح أن n_e، متوسط عدد الكواكب الصالحة للحياة لكل نظام، منخفض للغاية. وبما أن المنظرين

(١) Y. Tsapras et al., "Constraints on Jupiters from Observations of Galactic Bulge Microlensing Events During 2000," in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*337 (2002), 41-48.1

(٢) انظر:

Serge Tabachnik and Scott Tremaine, "Maximum Likelihood Method for Estimating the Mass and Period Distributions of Extra-solar Planets," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 335 (2002), 151-158.

وبشكل أكثر تحديداً، يقدر هؤلاء الباحثون أن معدل الحدوث الحقيقي للكواكب التي تقدر كتلتها بين واحد وعشرة أضعاف كتلة كوكب المشتري وفتراتها المدارية بين يومين وعشر سنوات هو ٣ في المئة. هذا يقلل أهمية معدل الحدوث الكلي للكواكب العملاقة. **أولاً**: لا يشمل التقدير الكواكب العملاقة الأقل حجماً من كوكب المشتري، التي تعاني من أكبر تأثيرات الانتقاء المتعلقة بالرصد. **ثانياً**: الكشف عن الكواكب ذات الفترات المدارية الطويلة أكثر صعوبة (على الرغم من أن تاباتشني) (Tabachnik) وتريمين (Tremaine) يحاولان (تصحيح هذا التحيز). يفترض هذا التقدير أن الكواكب العملاقة تحدث باحتمال متساو بين نجوم النسق الأساسي لأي كتلة. لكن البيانات الحالية تشير إلى حدوث منخفض للكواكب بين النجوم منخفضة الكتلة انظر:

Laws et al., "Parent Stars of Extrasolar Planets. VII. New Abundance Analyses of 30 Systems," *Astronomical Journal* 125 (2003), 2664-2677.

والتي أخذناها بعين الاعتبار في تقديرنا الأربعة في المئة.

افترضوا أن نظامنا الشمسي نموذجي، اعتقدوا أن معظم الأنظمة الكوكبية تضم حوالي تسعة كواكب، مع وجود أحدها في النطاق الصالح للحياة. بدا وكأن هذه الثقة سابقة لأوانها. وهذا العامل ـ شأنه في ذلك شأن العوامل الأخرى ـ هو في الحقيقة خارج معادلة أخرى كبرى، مخبأة بداخله. مع اكتشاف كل نظام كوكبي جديد خارج النظام الشمسي، يصبح أكثر وضوحاً أن بإمكانهم افتراض مجموعة متنوعة من الهيئات. لا يوجد قانون في الفيزياء أو الميكانيكا السماوية يتطلب أن تدور جميع الكواكب الأرضية الصغيرة نسبيّاً بالقرب من نجمها، مع وجود الكواكب الغازية العملاقة بعيداً، في مدارات دائرية إلى حدٍّ ما. وفي الواقع، فإن الغازية العملاقة تستطيع أن تدور في مدارات إهليلجية صغيرة أو كبيرة للغاية. ومن المؤكد أن مثل هذه الكواكب ستشوش المدارات الخاصة بأي كواكب أرضية ليس لها من الحظ ما يكفي للتشكل. ولا يوجد قانون في الفيزياء يتطلب أن يبقى حزام الكويكبات متموقعاً بشكل جيد دائماً بعد تشكل الكواكب الأخرى، أو أنه يجب أن يكون لكوكب أرضي في النطاق حول النجمي الصالح للحياة قمر كبير لتحقيق استقرار ميل مخوره. يسمح قانون الجاذبية الذي يتحكم بمدارات الأجسام حول النجم، بدرجة كبيرة من الحرية في طبائع وأشكال وأحجام المدارات.

حتى وقت قريب، قصر معظم علماء الفلك هذا العامل في المقام الأول على متوسط عدد الكواكب في النطاق حول النجمي الصالح للحياة. ونحن نقدر الآن أن العديد من الخصائص الأخرى لنظامنا الشمسي تساهم إلى حدٍّ كبير في صلاحية الأرض للحياة، كما بيَّنَّا في الفصول السابقة. ومنذ أوائل التسعينات فقط، اكتشف علماء الفلك أهمية القمر في تحقيقه استقرار ميل الأرض، وأن انفجارات أشعة غاما حوادث مضيئة للغاية خارج مجرية، والتي من شأنها تعقيم أي حياة قريبة إذا كانت ستوجد أيّ منها في درب التبانة، وأن هناك ثقوباً سوداء عملاقة خطيرة في نوى جميع المجرات الضخمة القريبة. في السنوات القليلة الماضية فقط، اكتشف علماء الفلك تدمر أقراص الغبار حول النجوم الصغيرة في سديم أوريون، مما يعني: أن العديد من النجوم لن تكون

مصحوبة بالكواكب الخارجية. كم عدد العوامل الأخرى التي تنتظر الكشف عنها؟ نظراً للاتجاهات الحالية، نحن على استعداد للمراهنة أن هناك المزيد.

أصل الحياة:

بمجرد الحصول على بعض الكواكب الصالحة للحياة، يجب علينا أن نسأل أيّ منها سيسكنها شكل من أشكال الحياة. (نذكر أن f_l هو جزء الكواكب المستضيفة لأي نوع من الحياة). رغم التصريحات الشائعة المعاكسة، فإننا لا نعلم إلا القليل جدّاً عن أصل الحياة من المادة غير العضوية و/أو المركبات الكيميائية الأولية العضوية، فضلاً عن تطور وتقدم الحياة المعقدة. حتى ما يسمى بالحياة البسيطة تتطلب كمية هائلة من المعلومات. في هذا الكتاب تناولنا في المقام الأول الشروط المتعددة اللازمة لإنتاج كواكب صالحة للحياة. وعلى حدِّ علمنا، فمثل هذا الكوكب ضروري لكنه ليس شرطاً كافيّاً في أي مكان تقريباً لوجود حياة معقدة. سنتجنب وضع وتطوير الحجج حول ما هو مطلوب أيضاً لإنتاج الحياة؛ لأن هذا موضوع يبلغ في طوله كتاباً لوحده.

والأكثر أهمية بالنسبة لنا التأثير التوجيهي للمبدأ الكوبرنيكي على المنظرين الذين يفكرون في هذه الأسئلة. بخصوص أصل وتطور الحياة، يأخذ المبدأ الكوبرنيكي صورة منفصلة، تنكسر تفسيراته إلى الشكل المزدوج للحظ والضرورة. بالنسبة للبعض، يستلزم هذا المبدأ أن أصل الحياة أمر محتم في ظل الظروف المناسبة. وبالنسبة للبعض الآخر، الحياة حظ غير محتمل من الناحية الفلكية. وبعد أن أظهرنا صورة هذا التفسير ثنائي القطب، فإننا نرى الآن أن المبدأ الكوبرنيكي يتعلق بشيء أكثر أساسية من انتشار الحياة في الكون.

في القرن التاسع عشر، اعتقد كثيرون أن الحياة كانت بسيطة على المستوى المجهري. يصف **إرنكل هيكيل** (Ernst Haeckel) الدارويني، الخلايا بأنها مجرد «كرات متجانسة من البروتوبلازم». بغض النظر عما نعرفه الآن عن

التعقيد العجيب للخلايا، والفرق الأساسي بين الكيمياء والمعلومات البيولوجية المشفرة في المواد الكيميائية(١)، فلا يزال كثيرون يفترضون أنه حيثما وجد الماء السائل، من الممكن جدّاً أن توجد حياة. بعد كل شيء فهم يظنون أنه إذا ظهرت الحياة على الأرض بسرعة كبيرة بعد أن كان ذلك ممكناً، يجب أن تكون العملية سهلة إلى حدٍّ ما. (هذا يتجاهل، من بين أمور أخرى، إمكانية قوية لتأثير الانتقاء). وحتى **دون براونلي** (Don Brownlee) **وبيتر وارد** (Peter Ward)، اللذان يجادلان في «الأرض النادرة» أن الحياة المعقدة غير شائعة، يعتقدون بأن الحياة «البسيطة» قد تكون شائعة(٢) يمكن للمرء هنا أن يكشف عن التوتر القائم بين الصدفة والقانون الطبيعي. وبخلاف عالم الفلك براونلي، وعالم الحفريات ورد، ينظر معظم علماء الأحياء، ممن هم على دراية وثيقة بالتعقيد المذهل والمحدد بشكل ضيق للحياة، إلى أصل الحياة باعتبار احتمال ظهورها أمراً ضئيلاً على نحو خرافي. إن الاحتمالات لإنشاء البروتينات

---

(١) للاطلاع على أهمية المعلومات في علم الأحياء، انظر:

Hubert Yockey, Information Theory and Molecular Biology (Cambridge: Cambridge University Press, 1992); Bernd-Olaf Küppers, Information and the Origin of Life (Cambridge: MIT Press, 1990); Bernd-Olaf Küppers, Molecular Theory of Evolution (Heidelberg: Springer, 1983); W. Loewenstein, The Touchstone of Life (New York: Oxford University Press, 1998).

وعلى الفرق بين المعلومات البيولوجية والبنى الكيميائية التي تحمل تلك المعلومات، انظر: مايكل بولاني، «هيكل غير القابل للاختزال الحياة»، والعلوم ١٦٠ (١٩٦٨): ١٣٠٨، ومايكل بولاني.

Michael Polanyi, "Life's Irreducible Structure," *Science* 160 (1968), 1308. and Michael Polanyi, "Life Transcending Physics and Chemistry," *Chemical and Engineering News* (Aug. 21, 1967), 54-66.

(٢) «لقد نشأت الحياة هنا تقريباً في أقرب وقت أمكن لها ذلك نظريّاً. إلا إذا كان ذلك قد حدث عن طريق الصدفة تماماً، وما يتبع ذلك هو أن الحياة الناشئة نفسَها، تتشكل بالأحرى ـ من مواد غير حية ـ بسهولة. ولعل الحياة قد تنشأ على أي كوكب متى انخفضت درجات الحرارة إلى القيمة حيث يمكن للأحماض الأمينية والبروتينات أن تتشكل وتتمسك فيما بينها بواسطة الروابط الكيميائية المستقرة. إن الحياة على هذا المستوى قد لا تكون نادرة على الإطلاق».

Brownlee and Ward, Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe (New York: Copernicus, 2000), xix.

انظر أيضاً: ١ ـ ١٤. بالمثل، يجادل ستيوارت تايلور روس، وهو أيضاً أحد المشككين حول قابلية انتشار الحياة الذكية، أن أصل الحياة هو في الأساس مسألة الحصول على الظروف الكيميائية المناسبة.

Destiny or Chance: Our Solar System and Its Place in the Cosmos (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 187.

الوظيفية «البسيطة» نوعاً ما من خلال تفاعلات عشوائية، صغيرة على نحو مروع. ونتيجة لذلك يجادل علماء الأحياء هؤلاء أنه لا ينبغي أن نتوقع حدوثها أكثر من مرة[١] وفي المقابل، يجادل بعض الباحثين في أصل الحياة (أكثرهم يتوجهون خارج مجال البيولوجيا) أنه ينبغي أن يكون للطبيعة بعض القوانين «ذاتية التنظيم»، التي تتيح خروج الحياة في أي مكان معين في ظل الظروف الكيميائية المناسبة[٢]

وبسبب هذا الخلاف الأساسي، لا يوجد إجماع منحاز لفرص الحياة المنبثقة على كوكب مثالي صالح للحياة. ويبدو أن أحد الأطراف يفترض أن أي كوكب صالح للحياة سيكون مسكوناً. بالنسبة لهم، فجزء الكواكب الصالحة للحياة مع وجود حياة قريب من واحد. في حين أن الجانب الآخر على استعداد تقبل كون مليء بالكواكب الصالحة للحياة، ليس معموراً/ مسكوناً منها إلا واحد أو قلة. بالنسبة لهم، يقترب جزء تلك الكواكب من الصفر[٣]

---

(١) انظر على سبيل المثال:

Jacques Monod, *Chance and Necessity* (New York: Knopf, 1971).

انضم عالم الفيزياء الفلكية فريد هويل إلى علماء الأحياء في هذا التقدير. انظر له:

The Intelligent Universe (London: Michael Joseph, 1983).

(٢) انظر على سبيل المثال:

Stuart Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity* (New York: Oxford University Press, 1995). Christian De Duve, *Vital Dust: A Cosmic Imperative*.New York: Basic Books, 1996.

(٣) وبما أننا لم نتناول مثل هذه القضايا في هذا الكتاب، فإننا لن ندخل في مناقشة مفصلة لها هنا. بشكل عام، نحن متشككون فيما يخص الافتراض القائل، إنه بما أن الحياة ظهرت بسرعة على الأرض، فمن المحتمل أن تنشأ على أي كوكب صالح للحياة. وهذا يتجاهل العديد من الاحتمالات الأخرى ـ على سبيل المثال، أننا ضحايا لتأثير الانتقاء. بالإضافة إلى ذلك، تعاني السيناريوهات ذاتية التنظيم عموماً من مشكل مفاهيمي أساسي. تُنتج الأنظمة ذاتية التنظيم المعروفة في الطبيعة أنماطاً متكررة. لكنْ ليس هذا ما يحتاج إلى تفسير في علم الأحياء. ففي الواقع، المعلومات البيولوجية المحددة لا تتكرر، وتشترك بشكل أكبر مع البنية التي تبدو عشوائية لحروف كتاب كُتب بلغة وأبجدية غير معروفة، من البنيات المنظمة بشكل متكرر. نعتقد لهذه الأسباب، أن احتمال الحياة الناشئة، بالنظر لقوانين الفيزياء والكيمياء المعروفة فقط، وحتى على كوكب مضيف بشكل مثالي، أقرب بكثير من الصفر. للاطلاع على المناقشة، انظر:

Paul Davies, *The Fifth Miracle: The Search for the Origin and Meaning of Life* (New York: Simon & Schus-
= ter, 1999)

والشيء الوحيد الذي يبدو أن كلا الطرفين يوافقان عليه هو أن الحياة لا تظهر أي إشارات على الغاية أو التصميم.

الحياة الذكية:

وأخيراً، من بين هذه الكواكب التي تأوي شكلاً من أشكال الحياة، علينا تحديد تلك التي تنشأ عليها الحياة الذكية (f_i). ونستحضر هنا تمييزنا بين الحياة البسيطة والمعقدة والتكنولوجية. وربما تكون الحياة الذكية مجموعة فرعية صغرى من الحياة المعقدة. وبالنظر إلى النموذج الأرضي، من المرجح أنها تشكل جزءاً صغيراً من الحياة المعقدة.

إنما نصل هاهنا، قرب منزلنا إلى جوهر المبدأ الكوبرنيكي. وربما نلخص ذلك في بيان بسيط واحد: **أننا لسنا استثنائيين.**

كما هو الحال مع أصل الحياة، وكذا في النقاش حول انتشار الحياة الذكية، فإننا نرى التوتر بين الصدفة والضرورة، اللتين ركبهما تشارلز داروين في نظرية التطور الخاصة به في القرن التاسع عشر. فقد جادل داروين أن التغير العشوائي (الصدفة) إلى جانب الانتقاء الطبيعي (الضرورة أو القانون) يمكن أن يحاكي أنشطة مصمم ذكي ويفسر ظهور التصميم في علم الأحياء. لكن حتى أولئك الذين يعزون حصراً تنوع الحياة وتعقيدها لآلية داروين ما زالوا لا يوافقون على العنصر الذي ينبغي أن تكون له الأولوية.

ونتيجة لذلك؛ فإن الاعتقاد بأنه لا يوجد شيء استثنائي حول الإنسان العاقل (homo sapiens) يمكن أن يكون ذا معنيين مختلفين تماماً. فمن ناحية،

= وللاطلاع على نقد قوي لحيوية السيناريوهات ذاتية التنظيم لتفسير أصل الحياة، انظر:

William A. Dembski, *No Free Lunch: Why Specified Complexity Cannot be Purchased Without Intelligence* (Lanham: Rowman & Littlefield Publishers, 2002), 179-237.

وكلما استمرت تجارب أصل الحياة دون إنتاج الجزيئات المزودة بالمعلومات الأساسية للحياة في ظروف معقولة دون تدخل غير ضروري من طرف المُجرّب، قلَّت فرص الأصل الطبيعي للحياة. توجد حجة مماثلة بالنسبة للسيتي: كلما وصلوا الذهاب دون كشف، قلَّت فرص وجود الإيتي في درب التبانة.

ربما يعني: أنه ما إن تنشأ الحياة، يصبح تطور المزيد من أشكال الحياة الذكية والمعقدة من نوع ما أمراً محتملاً إن لم يكن حتمياً. لذلك لا يوجد أي سبب لنفكر أننا استثنائيون. ومن ناحية أخرى، ربما يعني: أننا نتيجة تسلسل مجموعة صدف، وأحداث انقراض جماعي وكوارث وحظ سيئ، ولسنا إنجازاً تتويجيّاً لدراما كونية كبرى. إذا كنا استثنائيين، فهذا ليس لأننا مقصودون أو محبوبون بل لأننا ضربة حظ ـ فوز لمرة واحدة في آلة القمار الكونية.

وبينما يتراجع المبدأ الكوبرنيكي في اتجاهين متعاكسين، فإنه من السهل فقدان أثره. فلننظر على سبيل المثال، إلى المناقشة التي دارت في وقت متأخر بين **ستيفن جولد** (Stephen J. Gould) **وسيمون كونواي موريس** (Simon Conway Morris). وفقاً لما ذكره عالم الحفريات السابق بهارفارد، **جولد**، أن تطور الحياة رغم الدلالة الضمنية للكلمة، ليس ارتفاعاً تدريجيّاً متزايداً إلى الأبد في التعقيد ولكنه مسار متعرج بلا اتجاه يميزه عدد لا يحصى من «الصدف» والحوادث؛ كأحداث الانقراض الجماعي. لو أعدنا الأرض إلى البدايات الأولى للحياة وتركنا العملية التطورية تحدث نفسها مرة أخرى، لاتخذت الحياة أشكالاً مختلفة تماماً من تلك التي اتخذتها خلال الوهلة الأولى(١) فالرسالة المركزية لداروين، كما قال **جولد**، ليست رسالة تتعلق بالتطور، نشكل فيها إنجازاً تتويجيّاً لإنشاءٍ بأمر إلٰهي أو أننا نتيجة عملية تطورية تدريجية، لكن بلا غاية. باختصار ووفقاً **لجولد**، تحمل الثورة الداروينية نفس الرسالة الأساسية التي يحملها المبدأ الكوبرنيكي: **أننا لسنا استثنائيين**(٢)

---

(١) انظر:
Gould's Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History (New York: W.W. Norton, 1989).

(٢) انظر المناقشة في: Koerner and LeVay, *Here Be Dragons*, 140-153. عنوان الفصل السادس هو:
"What Happens in Evolution?: Chance and Necessity in the Origin of Biological Complexity".
ينتقد جولد في موضع آخر ما يسميه «المبدأ الإنثروبي»، الذي يقصد به فكرة أن بيئتنا صممت من قبل «عقل فائق». انظر له:
"Mind and Supermind," in Modern Cosmology and Philosophy, John Leslie, ed. (Amherst, NY: Prometheus, 1998).
=

في المقابل، يُحاجُّ عالم الحفريات بكامبريدج **سيمون كونواي موريس** أن القوانين والقيود المختلفة تضيق بشكل كبير دور أحداث الصدفة في التطور. ويشير إلى الأمثلة العديدة «للتطور المتقارب» كالثدييات المشيمية والجرابية، التي تظهر فيها أشكال بنيوية مماثلة في مخلوقات لا ارتباط وثيق بينها[(١)] وهذا يوحي أن بعض الضوابط العامة لتطور الحياة قد بنيت في الطبيعة، حتى تكون فرصة الكائنات الذكية الناشئة «عالية جدّاً» من الناحية الاحتمالية[(٢)]، حتى لو كانت تتخذ مجموعة متنوعة من المسارات المختلفة. ويوحي هذا بالنسبة لـ**كونواي موريس**، بمعنى ما، أنه من المحتمل أن الحياة قد بنيت في الكون منذ البداية، وأنه ربما يكشف تاريخ الحياة عن غاية أكبر[(٣)] والآن، إن هكذا فكرة تجعل نجاح السيتي أمراً راجحاً (على فرض وجود كواكب أخرى متوافقة مع الحياة). لكن إيحاءاتها الغائية لا تتماشى تماماً مع المبدأ الكوبرنيكي. وهذا يترك مؤيدي السيتي في مأزق نوعاً ما؛ لأن معظمهم يعتقدون أن وجود حياة خارج كوكب الأرض سيؤكد المبدأ الكوبرنيكي.

وعلى الرغم من هذا التضارب الواضح في المصالح، فإن فائدة فكرة أن الحياة قد بنيت في الكون تؤدي بمعظم علماء الأحياء الفلكيين إلى تفضيل

= يبدو أن هارفارد تولد تعهداً للصدفة في التطور. وقد جادل جورج جايلورد سيمبسون (George Gaylord Simpson) من جامعة هارفارد قبل عدة عقود في: "The Nonprevalence of Humanoids," Science 143 (1964): 769، كما فعل إرنست ماير، البروفيسور المتقاعد في علم الحيوان في جامعة هارفارد. انظر له على سبيل المثال:

"The Probability of Extraterrestrial Life," in Extraterrestrials: Science and Alien Intelligence, Edward Regis, Jr., ed. (Cambridge: Cambridge University Press, 1985), 23-30.

(١) انظر:

Simon Conway Morris, The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals (Oxford: Oxford University Press, 1998).

ومع أن حجته تحفز العديد من باحثي السيتي وعلماء الأحياء الفلكية، لا يبدو أن موريس نفسه، بقدر ما نعلم، ملتزم بالمبدأ الكوبرنيكي.

(٢) هذا اقتباس من سيمون كونواي موريس في Koerner and LeVay, *Here Be Dragons*146.

(٣) انظر كتابه الأخير المهم:

Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe (Cambridge: Cambridge University Press, 2003).

الضرورة على الصدفة في أصل وتطور الحياة[1] مع وجود استثنائين مهمين هما **بيتر وارد ودون براونلي**. إذ يجادلان في «الأرض النادرة»، مثل **جولد**، أنه من المستبعد جداً أن تتكرر الأحداث التصادفية التي لا تعد في تاريخ الأرض - كثيرة منها مهمة في تاريخ الحياة - في أماكن أخرى[2] ظهرت الحياة تقريباً على الأرض في أقرب وقت ممكن. ومع ذلك، فإن الحياة الذكية لم تظهر إلا مؤخراً، مما يعني: أنه حتى لو كان ما يسمى بالحياة البسيطة شائعاً، لم يكن الأمر كذلك بالنسبة للحياة الذكية.

وكتعميم إذن، يرى العديد من علماء الفلك أن المبدأ الكوبرنيكي يقترح أن الحياة، بما في ذلك الحياة الذكية، شائعة[3] بيد أن كثيرين من علماء الأحياء، يرون الحياة بما في ذلك الحياة الذكية، محض صدفة. ومع ذلك فهم لا يعتقدون أن هذا يضاد المبدأ الكوبرنيكي؛ بل يؤكده. كيف يمكن للمبدأ الكوبرنيكي أن ينتج تنبؤات مناقضة ثم يبقى ذا فائدة من الناحية العلمية[4]؟

---

(١) Dick, *Life on Other Worlds*, 195-169.

يجادل ستيوارت كلارك، تبعاً لبول ديفيز، أن الفلكيين يفترضون هنا المبدأ الكوبرنيكي ومبدأ التمام، الذي يعني: أساساً، أن كل ما يمكن أن يحدث، سيحدث. ونحن على ثقة أقل بأن مبدأ التمام يصنف كمبدأ منهجيٍّ مشتركٍ بنفس الطريقة التي يصنف بها المبدأ الكوبرنيكي.

Stuart Clark, *Life on Other Worlds and How to Find It* (Chichester, UK: Springer-Praxis, 2000), 2-6.

(٢) Peter D. Ward and Donald Brownlee, *Rare Earth*83-242.

(٣) «شعوري هو أن التسويغ النهائي للمبدأ الكوبرنيكي سيكون لو لم تكن الأرض ككوكب، ذات امتياز حتى بظهور الحياة. إذا أمكن أن تمتد الأفكار الكوبرنيكية إلى علم الأحياء، فإنه لا يوجد أي سبب للاعتقاد بأن الحياة على الأرض حادث كوني لا يتكرر». Clark, *Life on Other Worlds*, 3 وقد تمكن بعض دعاة السيتي من مزج كل هذه العناصر في ملغم غير مستقر. يقول بروس جاكوسكي في *The Search for Life on Other Planets* 301.

إن إيجاد الحياة غير الأرضية سيكون الفعل النهائي في تغيير تصورنا لكيفية مناسَبة الحياة على الأرض للمنظور الأوسع للكون [لاحظ التاريخ النمطي للثورة الكوبرنيكية]. سيتعين علينا أن ندرك أن الحياة على الأرض لم تكن حدثاً خاصّاً، وأن الكون وجميع الأحداث التي طرأت فيه كانت نتائج طبيعية للقوانين الفيزيائية والكيميائية، وأن البشرَ نتيجة سلسلة طويلة من الأحداث العشوائية.

(٤) آخر تنبؤ نهائي للمبدأ الكوبرنيكي: لا يوجد شيء مميز بخصوص أشكال الحياة القائمة على الماء والكربون. في بيئات أخرى، من المرجح أن الحياة تنشأ وفقاً لكيميائيات واحتياجات طاقية مختلفة. =

الحضارات المتقدّمة:

يرتبط المتغيران الأخيران من معادلة دريك، f_c (جزء الحياة الذّكية التي تبلغ تكنولوجيا الاتّصالات الرّاديوية) وf_L (متوسّط عمر حضارة متقدّمة) ارتباطاً وثيقاً. (يترادف عامل f_L تقريباً، مع تصنيفنا للحياة التّكنولوجية). ولا يمكننا أن نخمّن إلّا هذين؛ لأننا لا نملك سوى نقطة بيانات واحدة للعمل عليها: نحن. يفترض معظم باحثي السيتي أنّ الحياة الذّكية ستطوّر عادة إن لم نقل حتميّاً، العلم والتّكنولوجيا. كما أن تجنُّب تفاصيل التّطور الخاص بنا يجعل هذه المهمّة أسهل. لكن وكما رأينا في الفصل الحادي عشر، فأصل العلم الحديث والتّكنولوجيا يعتمد على تكوين دقيق للبوادر (precursors) الاقتصادية، والثّقافية، والفلسفية، واللّاهوتية، ومناخ دافئ ومستقرّ طويل الأمد بشكل غير اعتيادي. تتطلّب التكنولوجيا المهارة ومستوى من القدرة على التّواصل التي يمتلكها البشر فقط من بين الملايين من أنواع الحياة المعروفة. كما يتطلّب الوصول إلى غلاف جوي غني بالأوكسجين، والأراضي الجافّة، والخامات المركزّة. إنّ قوانين الفيزياء لم تحدّد بشكل خاص أيّاً من هذه الأمور. وإلى أن تتضافر هذه العوامل، لم تطوِّر أيّة حضارة تكنولوجيا متقدّمة بما فيه الكفاية لتسخير الاتّصالات اللّاسلكية. وحتّى على الأرض، لم يحدث هذا إلا مرة واحدة فقط. أيّ تبرير لدينا لنفترض أنّه نتيجة حتمية للحياة ـ حتّى الحياة الذّكية ـ في كلّ مكان؟

يمكن أن تقلّل الحيلة المختلفة والسّاخرة، المعروفة باسم حجّة يوم القيامة (Doomsday Argument)، إذا ثبتت صحّتها، أيضاً من فرص التّواصل

= ومع أنه من الصعب تكذيب ذلك، فقد جادلنا في الفصل الثاني أن هناك قدراً كبيراً من الأدلة على أن قدرة الكربون المتنوعة في الترابط الكيميائي يجعله بشكل خاص، إن لم يكن شكلاً استثنائياً، مناسباً لوظيفة حمل المعلومات البيولوجية. السيليكون بديل ثان، ولا توجد عناصر أخرى جديرة تنافسه. والماء حتى الآن أفضل مذيب للتفاعلات الكيميائية. ولهذه الأسباب، ينبغي أن نقصر صلاحية الحياة على تلك الأماكن التي تضم كمية وافرة من المياه السائلة، وأن نتوقع أنه، إذا وجدت حياة خارج كوكب الأرض، فإنها ستكون قائمة على الكربون.

النّاجح بين الحضارات التّكنولوجية المتقدّمة. تطرح الحجّة على هذا النحو تقريباً. يتطلّب المبدأ الكوبرنيكي أن نفترض أنّنا نحتلّ بقعة عشوائية عوض بقعة مميّزة من المكان والزّمان (مع التفسير الذي يقدمه المبدأ الأنثروبّي لبعض الاستثناءات). لذلك يجب علينا أن نفترض أنّنا لا نشغل بقعة خاصّة على الخطّ الزّمني التّاريخي للأفراد المراقبين من الجنس البشري. ونظراً لعدد الأجيال التي عاشت، وحقيقة أن عدد السّكان قد ازداد بشكل كبير في الآونة الأخيرة، فإنّه من غير المرجّح أنّنا نحتلّ الآن الجزء الأولي من التّاريخ الكلّي للجنس البشري. عندما يتم تطبيق الحجّة على التكنولوجيا المتقدّمة، فهي تصبح أكثر إحباطاً؛ لأنه سيكون من غير المرجّح أن نحتلّ الجزء الأولي من وجودها. لقد سبق أن نجت حضارتنا التّكنولوجية قبل مائة سنة تقريباً، لذا هناك احتمال جيد أنّها لن تستمرّ فترة أطول من تلك الفترة الزّمنية الممتدّة في المستقبل. إنّ تطبيق هذا المنطق عموماً؛ يعني: أن الحضارة المتوسّطة المتقدّمة كفاية لاستخدام الاتّصالات اللّا سلكية لا يمكن أن تبقى على قيد الحياة إلّا بضع مئات من السّنين. وما هي احتمالات أن تتداخل حضارتان أو أكثر في الوقت اللّازم للتّواصل مع بعضها البعض[(١)]؟

(١) كان براندون كارتر أول من اقترح هذه الفكرة. فطوّرها الفيلسوف جون ليزلي في:
The End of the World: The Ethics and Science of Human Extinction (London: Routledge, 1996). لتحليل مفصل، انظر:

Nick Bostrom, *Anthropic Bias: Observation Selection Effects in Science and Philosophy* (London: Routledge, 2002 J. Richard Gott).

يدافع ريتشارد غوت الثالث III عن هذا النمط من التفكير في:
"Implications of the Copernican Principle for Our Future Prospects", *Nature* 363 (May 1993): 315-319.
وتثير حججهم المختلفة أحكاماً وجداول زمنية مختلفة، لن نناقشها هنا. للاطلاع على نقد حجة غوت، انظر:

Carlton M. Caves, "Predicting Future Duration from Present Age: A Critical Assessment," *Contemporary Physics* 41, no. 33 (200): 143-153.

وغالباً ما تقترن حجة يوم القيامة باقتراحات إضافية في أنه قد يكون للحضارات المتقدمة ميل لتدمير نفسها، إما عن طريق أسلحة الدمار الشامل أو عن طريق التدهور البيئي. وربما تكون هذه الجوانب من الحجة والمفيدة من الناحية السياسية، لا وجاهتها الذاتية، هي ما يقود المفكرين لأخذها على محمل الجد.

يبدو أن البعض يجد هذا المنطق معقولاً لكنه يعتمد على الافتراضات المشكوك فيها والقائلة إننا نحتل عينة عشوائية من الزمان والمكان وأن المستقبل محدود[1] وبالتالي فهذا يبدو لنا أنه **يناقض** المبدأ الكوبرنيكي، خاصة وأن هناك ـ كما رأينا ـ الكثير من الأسباب الوجيهة؛ لئلا نفترض هذه الأمور. يبدو أن الدرس الذي تقدمه حجة يوم القيامة، هو أننا يجب أن نتجنب إجراء الاستدلالات الاستنباطية من المبدأ الكوبرنيكي. ومع ذلك فحجة يوم القيامة مثيرة للاهتمام لسخريتها؛ لأن هذه النتيجة المتشائمة للمبدأ الكوبرنيكي تستلزم أنه من غير المحتمل للسيتي، التي تتخذ أيضاً المبدأ الكوبرنيكي كمصدر إلهام لها، أن تنجح. فنرى مجدداً أن المبدأ ينقلب على نفسه، مثله في ذلك مثل ثعبان يعض ذيله.

أما فيما يتعلق بهذين المتغيرين من معادلة دريك ـ نسبة الحياة الذكية التي تبلغ تكنولوجيا الاتصالات اللاسلكية، ونسبة وجود جنس غريب ذكي يضم حضارة متقدمة ـ فالعلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس سيف ذو حدين.

فهو من جهة، يمنح شعاعاً من الأمل لباحثي السيتي. لننسى باسم الحجة أن شروط صلاحية الحياة نادرة جدّاً وأن أصل العلم قد اعتمد على صدف تاريخية كثيرة. إذا كانت توجد حياة ذكية في أماكن أخرى من الكون، فإنه غالباً ما ستتوفر بيئتها المحلية على العديد من الخصائص نفسها التي تؤدي إلى الاكتشاف العلمي. إذا كانت توجد أي كائنات غريبة خارج الأرض، فمن المرجح أنها لن تكون محرومة من قمر كبير، محاط بغيوم كثيفة أو متركزة على مياه قاتمة، أو محاطة بنظام شمسي فارغ منغمس في ضوء باهت صادر من ألوف النجوم القريبة؛ لذلك ستكون لديهم فرص مماثلة للاكتشاف العلمي. بالإضافة إلى ذلك، سيتاح لهم الوصول إلى معلومات عن المناخ طويل المدى

(١) تفترض هذه التطبيقات الزمنية للمبدأ الكوبرنيكي جميعها أن المستقبل محدود. إذا كان المستقبل، في المقابل؛ لانهائياً (بشكل محتمل)، فإن الحجة تسقط؛ لأن المراقبين سيجدون أنفسهم دائماً بالقرب من «بداية» الزمن الكوني.

والأجسام القريبة مثل الكويكبات والمذنبات، التي من شأنها أن تعزز احتمال بقائهم على قيد الحياة لفترات طويلة من الوقت. ومن المرجح أن يكونوا أيضاً في النطاق المجري الصالح للحياة، وهذا يعني: أن بعضاً منهم على الأقل سيكون في مكان قريب. ومن جهة أخرى، فالعلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس تقوي حجة فيرمي؛ لأنه يذيع بعض ردود أنصار السيتي عليها. وهذا من شأنه أن يمدنا ببعض الأسباب لنفترض أن أي حضارات ذكية أخرى يجب أن تكون قابلة للكشف كما هو الحال بالنسبة لنا. وأن يكون من الممكن جدّاً أن تكون قادرة على كشف الحياة على الأرض وتوجيه إشاراتها و/أو استطلاعها بعد ذلك. أين هم إذن؟

مجرات أخرى:

حصر دريك معادلته على مجرة درب التبانة لأنه كان مهتماً فقط بالكائنات الفضائية خارج الأرض التي هناك احتمال لنكشفها. لكن لا تزال هناك مليارات المجرات الأخرى. ففي التسعينات، بدأ علماء الفلك بتدريب مرصد هابل الفضائي في أعماق الفضاء، واستبانة الآلاف من المجرات البعيدة التي لم تشهد لها العين البشرية مثيلاً. وقد سافر بعض الضوء من حقول هابل العميقة هذه اثنتي عشر مليار سنة ضوئية. يذكرنا مثل هذا السرب المجرّي أن درب التبانة ليست الموئل المحتمل الوحيد في الكون. وهو ما دفع مؤخراً بمُنظّر الاحتمال **أمير أكزيل** (Amir Aczel) لأن يجادل أنه مهما كانت الاحتمالات صغيرة، يمكن أن نكون على يقين أنه في مكان آخر في الكون، يجب أن تكون هناك حياة ذكية[1] ولسوء الحظ، يتعامل أكزيل مع المجرات بالطريقة التي تعامل بها باحثو السيتي مع النجوم: أنها سواء. وهذا ـ كما ينبغي أن يكون واضحاً من الفصل الثامن ـ خطأٌ فادح. فالحجم، والعمر، والنوع، والمعدنية كلها تتضافر بشكل كبير للتقليل من عدد المجرات، ليس

(١) Amir D. Aczel, *Probability 1: Why There Must Be Intelligent Life in the Universe* (New York: Harcourt Brace, 1998), 208-214.

فقط القادرة على إيواء الحياة بل حتى الكواكب الأرضية. إن درب التبانة هي ضمن اثنين في المئة من المجرات الأكثر إضاءة، وبالتالي الأكثر غنى بالمعادن في الكون المحلي، مما يضعها في طريقها إلى الأمام على سلم صلاحية الحياة.

فمن الصعب أن نتصور؛ لكن يجب علينا أن ننفض فكرة أننا نشاهد في حقول هابل العميقة صوراً للمجرات البعيدة كما هي الآن. إن ما نراه هو الصور القديمة تم نقلها مبدئيّاً عبر الفضاء قبل مليارات السنوات خلال المراحل الأولى للتوسع الكوني. كانت هذه المجرات الأولى تفتقر إلى المعادن، مما يعني: أنها ربما لم يكن لديها ما يكفي من المعادن لإنتاج العديد من الكواكب ذات الحجم الأرضي؛ بالإضافة إلى ذلك، كانت مستويات الإشعاع أكثر كثافة آنذاك. وبالتالي فإن المشهد المجرّي الكلي المعروض في حقول هابل العميقة عبارة عن صورة قديمة لزمان ومكان خاليين تقريباً من الكواكب الصالحة للحياة.

نحن لا نعرف حالة تلك المجرات «الآن». وفي المستقبل، عندما نعرف المزيد عن تكوين المجرة، ربما نكون قادرين على تحديد النسبة المئوية لتلك التي قد تصبح كدرب التبانة، لكن حتى هذه اللحظة، كلَّ ما في وسعنا فعله هو أن نحدس فقط. ربما يوجد حاليّاً عدد قليل من المجرات التي تماثل بشكل لطيف درب التبانة. ولعل بعض هذه المجرات تضم الآن كواكب صالحة للحياة ومراقبين ينظرون للخلف إلى درب التبانة الأولى في حقول هابل العميقة الخاصة بهم. والحقيقة أننا لا نعلم من ذلك شيئاً في هذه اللحظة. لكن بغض النظر عما إذا كنا استثنائيين حقّاً على النطاق الكوني، فإنه ينبغي أن ندرك أننا نادرون للغاية على الأقل في المناطق المجاورة لنا، قد نكون. ومع ذلك فإن الكلام العريض في هذا الموضع يمكن أن يصرف انتباهنا عن نقطة أكثر أهمية؛ لأنه، بالنسبة للكثيرين، سواء نجحت السيتي أم لا، فهي تتعلق بما هو أهم من مجرد العثور على أجناس غريبة.

السيتي وبقايا المبدأ الكوبرنيكي:

إن السيتي المعقد والمتناقض في كثير من الأحيان، صعب تحليله. ومن الصعب كذلك التغاضي عن أصدائها شبه الدينية لبحثها في السماوات عن ذكاء علوي، وإن كان طبيعيّاً، ورغبتها في رسالة وحي تحويلية[1] يجسد هذه الروح الفيلم الرائع لسنة ١٩٩٧م «الاتصال»، المستلهم من رواية كارل ساجان الخيالية عن السيتي؛ حيث يتم نقل بطل الرواية وباحثة السيتي إيلي أرواي (التي أدت دورها جودي فوستر) في ذروة الفيلم، إلى مجرة بعيدة لتتواصل مباشرة مع ممثل غريب. فتسأله عن الهدف من هذا المجتمع البيكوكبي الذي نُصِّبت فيه البشرية للتّو. فيقول لها: «إن الشيء الوحيد الذي يجعل الفراغ شيئاً يمكن احتماله في بحثنا كله، هو بعضنا البعض».

ثم وبعد هذا اللقاء الوحيد، تستنطق هيئة الكونجرس أرواي عن تجربتها. فقالت أخيراً وهي غاضبة بسبب شكوكهم تصف اكتشافها بأنه «رؤية تخبرنا عن مدى **صغرنا وضآلتنا وندرتنا وأهميتنا الكبيرة**». ولخصت في نفس واحد، الروعة المتناقضة للسيتي. فمن جهة، يتبع مؤيدوه ما يلزم عن المبدأ الكوبرنيكي حتى نهايته المريرة. ومن جهة أخرى، يشرعون في بحث شبه ديني بالنسبة لأولئك الذين فقدوا الثقة في الدافع التقليدي للمعتقد الديني. إن إدراك وجود العديد من الحضارات الغريبة الأخرى يمكن أن يؤدي بامرئ إلى اعتبار حضارتنا الصغيرة البدائية نسبيّاً على أنها غير ذات أهمية. ولكن من أين أتت بوصف **الندرة والأهمية الكبيرة**؟

ربما أتت بها من الكائن الفضائي المتقدم للغاية الشبيه بالإلٰه والذي يتخذ ملامح والدها المحبوب. ليس على المرء هنا أن يكون ذا مخيلة جامحة لرؤية هذا الأب الشبيه الغريب كبديل لأب إلٰهي متوفى أيضاً، وقد أعلن أن هذا الأب ميت من قبل علم وفلسفة القرن التاسع عشر. فكل حضارة في تاريخ البشرية اتخذت إلٰهاً أو آلهة. ويبدو أن الأمر يختلف قليلاً بالنسبة لأنصار السيتي.

(١) انظر: Steven J. Dick, "Cosmotheology: Theological Implications of the New Universe," *Many Worlds* 202.

وفي الوقت نفسه، ولأي سبب من الأسباب، يميل العديد من باحثي السيتي أن تكون لهم سلسلة من الاعتراضات على الدين[1] إذ غالباً ما يدعون أن اكتشاف الذكاء خارج كوكب الأرض (وهم عادة ما **يسوّفون**) سينسف نسفاً حتميّاً معتقدات معظم سكان الأرض الدينية التقليدية[2] وقد خلص لوكريتيوس قديماً أيضاً إلى هذا الاستنتاج، كما فعل باحثو السيتي في الحقبة السوفياتية بروسيا[3] لكن المسألة أكثر دقة من ذلك. فعدم أهميتنا ما عادت تنبع من كون تملؤه الحياة أكثر مما تتوقف أهميتنا الفردية على كوكب بالكاد يكون مأهولاً والأمر نفسه صحيح إذا كانت الحياة الذكية نادرة جدّاً. إن كوناً يعج بالحياة يمكن أن يكون مصمماً تصميماً هادفاً وذا قيمة، بقدر ما يمكن لكون أن يكون الحياة فيه نادرة[4] وطبعا فالسؤال عن أي الكونين موجود -

---

(١) كتاب ديفيد دارلينغ الأخير
Darling, *Life Everywhere: The Maverick Science of Astrobiology* (New York: Basic Books, 2001).
الذي خصصه للدفاع عن تفاؤل مشروع سيتي SETI، مثال رئيسي. لكننا نعرف استثناءً واحداً. انظر:
Michael D. Papagiannis, "May There Be an Ultimate Goal to the Cosmic Evolution?" *Bioastronomy: The Search for Extraterrestrial Life-The Exploration Broadens*, J. Heidmann and M. J. Klein, eds. (Berlin: Springer-Verlag, 1990).

(٢) في سنة ٢٠٠١، ألقى سيث شوستاك (Seth Shostak) من معهد السيتي محاضرةً عامة كجزء من سلسلة محاضرات مؤسسة تيمبلتون بعنوان «البحث عن الكائنات الفضائية ونهاية الأديان التقليدية». في نفس السياق، انظر: بحث جيل كورنيل تارتر (وهو عضو أيضاً في معهد السيتي).
"SETI and the Religions of the Universe," *Many Worlds* 143-149.

(٣) Koerner and LeVay in *Here Be Dragons* 173.

(٤) تغيّرت آراؤنا حول وجود الإيتي على مرّ السنين، لكن لأسباب تجريبية لا لأسباب لاهوتية. ومع ذلك توجد هنا معضلات فلسفية ولاهوتية مثيرة للاهتمام. إذ يجادل بعض العلماء أن وجود الكائنات الفضائية يمكن أن يزيد من إمكانيات التصميم. يقول الفيزيائي بول دافيس مثلاً: إنه «إذا كانت الحياة منتشرة في الكون، فإن هذا يمنحنا أسباباً إضافية لا العكس للإيمان بالتصميم الكوني».
"Biological Determinism, Information Theory, and the Origin of Life," *Many Worlds* 15.
في كتاب The Face That Is in the Orb of the Moon، يدافع بلوتارتش (Plutarch) بنفس الطريقة حول الحياة فوق القمر بناء على أساس التصميم الذكي. انظر:
Lewis White Beck, "Extraterrestrial Intelligent Life," in Regis, *Extraterrestrials: Science and Alien Intelligence* 3-6.
Òàúæàì Ìëì ú ÌüúÃì ìÌ Ãîè ûÌÓ Ì õÒÌ ÒãÒü úéõòõ ûõ òàìúò úÓÒòõẽ ÃÍÌ úÓúøë ûÌÓú õÍÌ ûÌ òÒãüÛ úæúì ìÕ ÍÌúãåẽ úÌÃî¤
= "Life and Intelligence Far from Earth: Formulating Theological Issues," in *Many Worlds* 151-175.

الذي يعج بالحياة أو الذي يضم حياة نادرة ـ سؤال تجريبي مهم جدّاً وجدير بالطرح. لكن غالباً ما تخفى الأهمية الجوهرية لكلا الاحتمالين إلى جانب غموضهما اللاهوتي، على أنصار السيتي؛ لأن المبدأ الكوبرنيكي يتخلل عملهم بشدة[1] وفي الواقع كما لاحظنا، فإن العديد من الأنصار يتخذ من ندرة الحياة وانتشارها دعماً للمبدأ الكوبرنيكي. فإما أن الحياة حتمية، وبالتالي شائعة أو أنها نادرة وبالتالي صدفة. لكن المعضلة الكاذبة تفترض مسبقاً أنه ليس للطبيعة تصميم أو غاية. وهذا الافتراض غير المعلن

= تاريخيّاً، أثّرت الآراء اللاهوتية على الأبحاث الفلكية بطرق مفاجئة ومتنوعة. انظر:

Michael J. Crowe, "Astronomy and Religion: Some Historical Interactions Regarding Belief in Extraterrestrial Intelligent Life," *Osiris* 16 (2001), 209-226.

(١) نرى أن مقاربة الباحث والمؤلف المسيحي لويس (C. S. Lewis) مقاربة مقبولة. فهو لم يُصدر أي تصريح لاهوتي بخصوص سؤال وجود الإيتي، مع أنه أدرج الكائنات الفضائية في أعماله الروائية، خاصة في:

Out of the Silent Planet (New York: Scribner's, 1996).

جادل لويس كلاهوتي، قبل عشرات السنين من اكتشاف كوكب خارج النظام الشمسي، أن وجود الإيتي سؤال مفتوح ويجب أن يظل كذلك: نعلم أن الإلٰه قد زار عباده وخلّصهم، وهذا يخبرنا شيئاً عن الطابع العام للخلق بقدر ما تخبرنا به جُرعة أُعطيَت لدجاجة مريضة واحدة عن الطبيعة العامة لتربية الحيوانات في إنجلترا. معلومٌ أن جوهر المسيحية هو أن الإلٰه يحبّ البشر فتحوّل من أجلهم إلى إنسان وتوفي. لكن ذلك لا يثبت أن الإنسان هو الغاية الوحيدة للطبيعة. ويتحدث المثَل عن الشاة التي ذهب الراعي باحثاً عنها: لكنها لم تكن الشاة الوحيدة في القطيع ولم يخبرنا المثَل أنها كانت الأعلى قيمة ـ باستثناء أنه بقدر ما يحتاج امرؤ باستماتة احتياجاً يدوم، يكون ذا قيمة خاصة في عين الرب. يمكن أن تتعارض عقيدة التجسد مع ما نعرفه عن هذا الكون الشاسع إلا لو علِمنا بوجود أصناف عاقلة أخرى سقطت مثلنا وكانت بحاجة إلى الخلاص بنفس الطريقة، لكنه لم يُمنح لها. غير أننا لا نعلم بشيء من هذا. علّق لويس بصرامة على محاولات الملاحدة لاستعمال جانبي النقاش حول الإيتي كسلاح ضد المسيحية: إذا اكتشفنا أجساماً أخرى، فينبغي أن تكون إما صالحة للحياة أو غير صالحة لها: والغريب أن كلتا الفرضيتين تُستعملان كقاعدة لرفض المسيحية. إذا كان الكون يعج بالحياة فإن هذا، كما أُخبرنا، يختزل الادعاء المسيحي إلى عبث ـ أو ما يُعتقد أنه الادعاء المسيحي ـ بكون الإنسان كائناً فريداً، والعقيدة المسيحية القائلة بأن الإلٰه نزل إلى هذا الكوكب فقط وتجسّد لأجلنا نحن البشر ولأجل خلاصنا. وفي المقابل، إذا كانت الأرض مميزة حقّاً، فإن هذا يثبت أن الحياة ليست إلا نتاجاً ثانويّاً عَرضِيّاً في الكون، ويدحض مجدداً ديانتنا. من الصعب إرضاؤنا حقّاً.

في:

C. S. Lewis, "Dogma and the Universe," in *The Grand Miracle and Other Essays on Theology and Ethics from 'God in the Dock,'* W. Hooper, ed. (New York: Ballantine Books, 1990), 14.

المعارض للتصميم واضح في التعريف الذي يعطى عادة لمفهوم «التصادف» وبعبارة أدق فالصدفة ببساطة، شيء يحدث من دون أن يكون ضرورياً أن يحدث.

ولأجل ذلك يقابل الفلاسفة بين الأحداث التصادفية والأحداث الضرورية، وهذه الأخيرة هي الأحداث التي يجب أن تحدث لسبب أو لآخر. ويرى معظم العلماء أن الحدث «ضروري» إذا تم تحديده بواسطة قوانين الفيزياء. وسواء في الوضع الفلسفي أو العلمي، يمكن للحدث أن يكون تصادفياً لأنه نتيجة للصدفة أو لأنه نتيجة لحرية الاختيار. إن التصادف هو ساحة الحدوث والحرية معا. يطوي المادي كل الصدف في العالم الطبيعي في فئة «الحظ». لكنه ليس الخيار الوحيد؛ بل إنه الخيار الوحيد الذي يتسنى للمادي أن يعتبره. والطريقة الجيدة لتقديم الفرض المسبق هو تفادي كلمة «التصادف» وبدلاً من ذلك، نقسم التصادف إلى شكليه الممكنين، ونتكلم عن الحظ، والتصميم، والضرورة.

أوضح مؤخراً عالم الفلك ومؤرخ العلوم ستيفن ديك (Steven Dick) في تأمله للنتائج اللاهوتية للسيتي. وهو لاهوتي أكثر من العديد من أنصار السيتي؛ ومع ذلك فقد استنتج أن أي ديانة من «الديانات التوحيدية» التي ترغب في «النجاة من الانقراض» يجب أن تتأقلم مع «المبادئ الكونية الجديدة»، التي يعني بها: المبدأ الكوبرنيكي. والنتيجة؟ إذا كنا سنحتفظ بأي لغة لاهوتية، فإنه يجب علينا أن نطابق بين «الإله» والكون نفسه[1]

---

(١) في:

Steven J. Dick, "Cosmotheology: Theological Implications of the New Universe," *Many Worlds*, 200-205.

وفي:

"Extraterrestrial Life and Our World View at the End of the Millenium," *Dibner Library Lecture* (Washington, DC: Smithsonian Institution Series, 2000), 14-25.

يجادل ديك بنفس الطريقة حيث يقول:

أفترض أنه.. يوجد «نظامان رئيسيان للعالم»، اثنان فقط، بمعنى: علمان كونيّان شاملان يؤثّران أو ينبغي أن يؤثّرا على نظرتنا للعالم في المستوى الأدنى من الهرم كالمستوى الفلسفي أو الديني.. =

وقد لخص ديك بلا قصد منه الطموح المركزي للمبدأ الكوبرنيكي؛ إذ يقول: لتقييد نظرتنا إلى الكون المادي الذي لم يكن مصمماً حسب التعريف. لكن ماذا لو كان الكون مصمماً؟ ماذا لو أن مكاننا فيه وملاءمته لنا كمراقبين متطورين يفترض وجود غاية؟ إذا انغمس العلم في التفكير بجد ورحابة صدر حول الأدلة التجريبية المعروضة أمامنا، هل من العلمي حقّاً تجاهل تلك الأدلة لأنها لا تلائم قالباً فلسفيّاً؟ وإذا اخترنا ألا نتجاهلها، فكيف نعتبرها؟ أو بعبارة مختلفة، إذا كان الكون موجوداً لغاية، كيف لنا أن نتحقق؟

= وهاتان النظرتان اللتان تستبعد كل واحدة منهما الأخرى والناشئة من مفهوم التطور الكوني هي كالآتي: أن التطوّر الكوني ينتهي بصورة مشتركة في الكواكب والنجوم والمجرّات، أو أنه ينتهي بصورة مشتركة في الحياة والعقل والذكاء.

واضح أنه يقع هنا في إحدى أقدم المغالطات المنطقية وأشهرها، والتي يعتبر توصيفها دعامة لكتب المنطق المدرسية الخاصة بالطلاب المبتدئين مذ أن وجد الطلاب المبتدئون والكتب المدرسية. لا تبدو هذه المعضلة الكاذبة كمغالطة داخل عقيدة. أما خارجها، تكاد تبدو المغالطة والمتحدّث بها خياليَّين من حيث تجاهلهما للإمكانات الأخرى.

الفصل الخامس عشر

كون مصمم للاكتشاف

هناك أشياء في السماء والأرض يا هوراشيو، أكثر من تلك التي تحلم بها في فلسفتك.

ـ ويليام شكسبير، هاملت،
الفصل الأول، المشهد الخامس، ١٨٥ ـ ١٨٦.

إدراك التصميم:

في بداية العمل الخيالي الرائع لآرثر كلارك وستانلي كوبريك سنة ١٩٦٨م، «٢٠٠١: ملحمة الفضاء»، هناك مشهد ملهم ومرعب في آن واحد. حيث أرسى البشر أولى خطواتهم الصغيرة في الفضاء وأنشأت الولايات المتحدة مستعمرة على القمر. وجد رواد الفضاء أثناء استكشافاتهم دون توقع منهم، «عموداً حجريّاً» (monolith) أسود، يشبه الدومينو، مدفوناً تحت سطح القمر. عندما أطل شعاع الشمس على هذا الجسم الغامض لأول مرة في ظرف أربعة ملايين من السنين، فإنه يؤدي إلى انتقال إشارة نحو المشتري. فأبقت الولايات المتحدة هذا الاكتشاف سرّاً لأسباب واضحة، ومع أن لا أحد يعرف الكثير عن الجسم، وأعلنت شخصية ما بسرعة بلا شك أو سخرية، «هذا أول دليل على الحياة الذكية خارج الأرض». ثم نعلم لاحقاً أن للعمود الحجري أبعاداً هندسية: واحد على أربعة على تسعة (مربعات الأعداد الأولية الثلاثة الأولى)، لكننا لا نرى أبداً أي حياة ذكية أخرى غير الخاصة بالبشر. وفي الحقيقة نحن لا نعلم أبداً الهدف من الجسم الغريب وإن كان بعض رواد الفضاء

قد اكتشفوا نسخة مماثلة عملاقة تدور حول كوكب المشتري. ومع ذلك ليس هناك في أي مرحلة، جدال حول أصل هذه البنيات الغريبة. حتى أنه لم يقلق أحد مبدئيّاً حول إمكان أن يكون العمود القمري مجرد نوع جديد من الصخور. ولم يشعر أحد من المشاهدين بأي إزعاج لدرجة أن تبدأ الشخصيات بتكوين استنتاجات وبما أنهم لم يروا أي كائنات غريبة ولا يعرفون شيئاً عن نواياهم، فقد كان إصدار حكمهم بصدد أصل الجسم قريباً إلى الصواب. وبما أنهم لا يستطيعون تكذيب حقيقة أن الجسم مصمم، لم يحتجَّ أحد على أنه لا يمكنهم أن يستنتجوا أنه كذلكِ بالفعل. يمكن لأي شخص أن يعرف أنه يحمل السمات المميزة لتصميم ذكي ـ دون حجة، أو تفكير معقد، أو حساب الاحتمالات، أو تحقيق قضائي. يرى الجميع ببساطة أن الجسم مصمم(١)

ولسنا بحاجة إلى أن توزع الكائنات الفضائية تلك الأعمدة حتى نكشف عن التصميم مرات عديدة كل يوم. ها أنت ذا تفعل ذلك الآن ببساطة، بقراءتك لهذا النص. حتى لو كنت تنظر إلى نص بلغة لا تفهمها، فإنه لا يزال بإمكانك أن تعرف ما إذا كان نصّاً أم لا، أو أن يكون مثلاً، نمطاً تشكل من ورق متحلل. نحن عادة لا نحتاج إلى معرفة المعنى، الوظيفة، أو الهدف من جسم لنعرف أنه مصمم. إننا نادراً ما نعرف كيف نفعل ذلك حتى. نحن فقط نقوم بذلك.

على سبيل المثال، لما رأى البريطانيون المعاصرون ستونهنج (Stonehenge) لأول مرة في سهل ساليسبري بمقاطعة ويلتشير، إنجلترا، علموا جميعاً أن شخصاً ما قام ببنائه. وكان أكثر قليلاً من مجرد دائرة غير مرتبة من صخور كبيرة غير مصقولة حال اكتشافه. (فتم ترتيبها قليلاً عندئذ). ولكن الجميع تقريباً قد أقر أنه شيء أكبر من أن يكون نتاج الرياح والتعرية. ثم

---

(١) نشكر غيرشون روبنسون (Gershon Robinson) ومورديكاي ستانمان (Mordechai Steinman) لنشرهما هذا المثال. للاطلاع على مناقشة هامة حول كون أن *A Space Odyssey: 2001* يصنع حجة لاواعية نوعاً ما عن التصميم، انظر: كتابهم *The Obvious Proof* (CIS Publishers, 1993) وكذا موقعهم الإلكتروني المهم:
"The 2001 Principle," http://www.2001principle.net/.

كشفت الأبحاث في العقود القليلة الماضية أن ستونهنج يوافق الأحداث الموسمية مثل الانقلابات الشمسية (solstices)، وأن الذين قاموا ببنائه ربما كانوا يستخدمونه للتنبؤ بالأحداث الفلكية كظواهر الكسوف. وحتى مع جهل هذا الغرض الذي وضع له، فإن الجميع تقريباً - بعبارة فلسفية - «يستشعر التصميم» حينما يرون ذلك.

عادة ما يستخدم علماء الآثار منطق التصميم، يقومون بغربلة الصخور التي لا غرض لهم بها من الأدوات القديمة، السهام، وغيرها من القطع الأثرية. يلعب التصميم دوراً هامّاً في عدد من العلوم المتخصصة الأخرى، مثل علم الأدلة الجنائي، والكشف عن الاحتيال، وعلم التشفير (فك الرسائل المشفرة)، وخاصة السيتي. يحكم على الأفراد بالسجن مدى الحياة أو الإعدام على أساس الحكم العلمي أن وفاةً كانت نتيجة التصميم الإجرامي بدلاً من كونها مجرد حادث. والجميع يفترض أن باحثي السيتي، على الأقل من حيث المبدأ، سيكونون قادرين على فرز إشارات الراديوية الذكية خارج الأرض عن الضجيج الراديوي الخلفي.

فالمصمِّم المكتشَف في هذه الأمثلة هو التنوع الطبيعي - سواء كان إنساناً أو كائناً خارج كوكب الأرض، وهذا الأخير لا يزال طبيعيّاً ولو أن الروائيين والمخرجين يجدون بعض الحماس في إلباسهم بالصفات شبه الإلٰهية. وعلى مر التاريخ الإنساني، استنتج معظم الأفراد وجود التصميم عند مشاهدتهم لبعض الأجسام الطبيعية أو الطبيعة ككل. أما في الغرب، ورغم الحجج المتشككة لفلاسفة مثل ديفيد هيوم، استمرت الأغلبية في الاعتقاد أن الطبيعة مصممة ولو جزئيّاً بفضل الأدلة الحسية. في العالم الناطق باللغة الإنجليزية، أبانت حجة **وليام بالي** (William Paley) الشهيرة في كتابه «اللاهوت الطبيعي» عن هذا الحدس المشترك؛ إذ يجادل بالي أنك إذا عثرت على ساعة ملقاة على الأرض، بترتيب معقد ومحكم لأجزائها، فمن المعقول أنك ستستنتج أن عميلاً ذكيّاً كان مسؤولاً عن ذلك. ومؤخراً كما هو الحال قبل قرن، لا يزال يطلب من جميع الطلاب في جامعة كامبريدج قِراءته.

لكن الزمن تغير. فكان من الشائع أن **تشارلز داروين** جعل من وجود تفسيرات التصميم سطحية في المجال البيولوجي، من خلال اقتراحه أن الانتقاء الطبيعي الذي يؤثر في التغيرات العشوائية يمكن أن يحاكي عمل مصمم ذكي. والرأي «الرسمي» الآن بين العلماء والأكاديميين هو أن مفهوم التصميم الذكي إما غير علمي أو غير ضروري على الأقل في ممارسة العلوم الطبيعية جميعها.

ومع ذلك فإن كان لامرئ أن يقيم أحكام أحد ما على أساس الأدلة التي ناقشناها في هذا الكتاب، ينبغي ألا يكون من المفاجئ أن نعتقد أن هذا الاستنتاج كان سابقاً لأوانه. ومع وجود هذه الأدلة الواضحة أمامنا، فإننا نقف في الموضع المناسب لاعتبار السؤال الواسع: ما هو أفضل تفسير لأصل وخصائص الكون التي وصفناها[1]؟ لقد ناقشنا مناقشة وافية أن العلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس تناقض المبدأ الكوبرنيكي. لكننا نعتقد أنها تتحدى أيضاً الافتراض القائل: إن نتائج العلوم الطبيعية تؤكد المذهب الطبيعي.

فصل القمح عن القش:

سنة ١٩٦٧م، قبل عام واحد من إصدار «٢٠٠١: ملحمة الفضاء»، التقطت طالبة الدراسات العليا بكامبريدج وعالمة الفلك الراديوي **جوسلين بيل** (Jocelyn Bell) إرسالاً راديوياً خارج كوكب الأرض يتألف من نبضات موقوتة توقيتاً ثابتاً. وسرعان ما وجدت هي ومستشار أطروحتها أربعة مصادر لهذه الإشارات. وكانت فترات الإشارات وانتظامها مختلفة عن فترات الإشارات

(١) نلمّح هنا إلى منهج معتاد في التفكير حول علوم التاريخ والأصول، عادة ما يُطلق عليه اسم الاستدلال التفسيري أو «الاستدلال بالتفسير الأفضل». لمزيد حول الموضوع انظر:

Stephen C. Meyer, "The Scientific Status of Intelligent Design," 176-192, 213-228, in *Science and Evidence for Design in the Universe* (San Francisco: Ignatius Press, 2000), and Peter Lipton, *Inference to the Best Explanation* (London: Routledge, 1991).

للاطلاع على مجموعة حديثة من المقالات حول حجة التصميم الحديثة انظر:

Neil A. Manson,ed., *God and Design: The Teleological Argument and Modern Science* (London: Routledge, 2003.

الراديوية من المصادر الطبيعية المعروفة آنذاك، مما يشير إلى أن لها أصلاً ذكيّاً، كانت الإشارة ومثيلاتها كالأقزام الكاريكاتوريين (إشارة إلى الأقزام الخضر «Little Green Men»). ومع ذلك فقد كشف البحث المتواصل أن الإشارات كانت تأتي من النجوم النيوترونية الدوارة، وبقايا المستعرات العظمى التي كانت تدعى بالنابضة. ومع ذلك اكتشفت بيل نوعاً جديداً من النجوم، ولم تكتشف إشارة كائن غريب[1].

ومع أنه كان للبحوث الرسمية للسيتي بعض الإنذارات الحماسية الكاذبة، فإنها لم تكن محظوظة حتى الآن في الكشف عن إشارة ذكية من خارج الأرض. لكن من السهل تخيل ما يمكن وصفه. في فيلم «الاتصال» المستلهم من رواية **كارل ساجان** الخيالية عن السيتي، يتلقى الباحثون إشارة متكررة من الضربات والوقفات، تدل على تسلسل الأعداد الأولية من ٢ إلى ١٠١. فعلم المشاهدون والشخصيات أنهم وجدوا ما كانوا يبحثون عنه.

وفي الحالتين معاً، وثق الباحثون في حدسهم. لكننا لا أن نقوم بذلك دائماً حينما يتعلق الأمر باستنباط التصميم، وخاصة في العلوم الطبيعية، حيث نحاول تقليل الآثار السلبية للتحيز الذاتي. وبيد أنه لا ينبغي لنا أن نفترض أحكامنا الحدسية كاذبة، فهي أحياناً كاذبة. ونحن نسيء فهمها من حين لآخر، إساءة جسيمة ومحرجة. لقد كان الجميع على حق لاستنتاجهم أن العمود الحجري الأسود في ٢٠٠١م لم يكن مجرد صخرة. إننا على يقين من أننا محقون في اعتقادنا أن أهرامات مصر لم تنشأ من الكثبان الرملية. وأنت محق باعتقادك أن الخربشات السوداء على هذه الصفحة تنقل أفكار مؤلفين من البشر. لكن **كبلر** كان مخطئاً حينما اعتقد أن السكان هم الذين أحدثوا الحفر على سطح القمر. كما كان بيرسيفال لويل مخطئاً باعتقاده أن سكان المريخ هم من أنشأوا تلك القنوات عليه. ومن المؤكد أن أنصار اليو إف أو على

---

(١) انظر تقريرها عن الحلقة في:

S. Jocelyn Bell Burnell, "Little Green Men, White Dwarfs or Pulsars?" *Annals of the New York Academy of Science* (302 Dec. 1977): 685-689.

خطأ في اعتقادهم أن جنساً غريباً هو المسؤول عن الوجه المشهور على سطح المريخ (Face-on-Mars)، كما أن الأطفال مخطئون كذلك إن كانوا يفكرون أن الغيوم مصممة لتبدو حقّاً كشخصيات ديزني. ومع ذلك حينما تعمل ملكاتنا بشكل صحيح، فإننا غالباً ـ وفي معظم الحالات ـ ما نستنتج واثقين أنه التصميم. لكننا نريد تجنب «النتائج الإيجابية الزائفة»؛ لأنه مع أننا بشر بارعون وكاشفون متمكنون للأنساق، فنحن أيضاً نفرضها. فكيف نفصل القمح عن القش؟

الحظ، والضرورة، والتصميم:

يخضع كل حدث أو جسم إلى بعض التفسيرات السببية الأساسية: حظ، ضرورة، تصميم، أو مزيج من ثلاثتها. وعلى هذه الفئات الثلاث تقف أهم نزاعات العلوم والفلسفة. إذا كان الحدث في العالم منتظماً ومتكرراً، فإننا نميل لأن نعزوه إلى «الضرورة» الطبيعية ـ أي: القانون الطبيعي. لأن الإشارة المتكررة التي تلقتها جوسلين بيل كانت منتظمة، واعتقدت أنها ربما أتت من مصدر ذكي. لكنها سرعان ما أدركت أنها كانت نتيجة نشاط طبيعي كأنه قانون. ونظراً لأن النجم النيوتروني يتميز ببعض الخصائص الفيزيائية، وأنه يدور بمعدل معين، فإنه سيبعث إشارة نابضة متكررة، مثل منارة ذات مصباح دوري. لم تكن بيل بحاجة لتفترض عملاً ذكيّاً لتفسير اكتشافها.

وكما لاحظنا في الفصل السابق، إذا كان الحدث الفعلي ليس ضروريّاً، فهو إذن تصادفي. لكن الحدث التصادفي يمكن أن يكون نتيجة الحظ أو التصميم الذكي. إذا أفرغت صندوقاً مليئاً بالأحرف المتقطعة، فإن قانون الجاذبية هو المسؤول عن سقوط الأحرف على الأرض. كون الجاذبية لا تحدد أن تسقط الأحرف وفق ترتيب معين. فما لنا إلا أن نعزو تشكيلتها الخاصة للحظ[1] ومن ناحية أخرى، إذا رتبتها لتكوين جملة، فإنها ستتخذ تشكيلة

---

(١) بالطبع لو كان الكون حتميّاً، فلن يكون أي شيء فيه نتيجةً للصدفة. وحتى عند الذين يسمحون بالتفسيرات القائمة على الصدفة، يحصر الكثيرون التفسيرات الحقيقية القائمة على الصدفة في مجال =

خاصة بسبب التصميم. وفي كلتا الحالتين، سيكون الترتيب المحدد للأحرف على الأرض مصادفة. فكيف لنا أن نفصل الحظ عن التصميم؟

والافتراض القائل إن حجة التصميم مجرد مسألة حساب الاحتمالات أو التعقيدات خطأ شائع. يفترض كثيرون أنه كلما كان الحدث أكثر احتمالاً أو معقداً، فهو أقل احتمالاً أن يكون نتيجة الحظ وأكثر احتمالاً أن يكون نتيجة التصميم الذكي. ربما ينجح هذا في الاحتمالات الضعيفة من الناحية الفلكية. لكن حقيقة أن حدثاً ما غير محتمل أو أن بنية ما معقدة يقدم تبريراً ضعيفاً للقول بالتصميم. وبعد كل شيء، فالأحداث غير المحتملة ـ على الأقل حينما ينظر إلى كل منها على حدة ـ تحدث دائماً مصادفة. إن العالم مكان كبير، وتوجد تحت تصرفه «موارد احتمالية» واسعة. وأشياء كثيرة تحدث. فكر كم هو من غير المحتمل أنك تقرأ هذا الكتاب في هذا الوقت بالضبط.

ما هي احتمالات أن يكون هذا الكتاب الذي صنعت صفحاته من تلك الشجرة بالضبط كتابك أنت بالضبط لا كتاب شخص آخر؟ ضئيلة جدّاً. ارم قطعة نقدية ألف مرة، وستكون قد شاركت للتو في حدث غير محتمل إلى حدٍّ كبير. (فإن كنت في شك من ذلك، حاول فقط أن تكرر نفس التسلسل). ومع ذلك، لا يوجد سبب لافتراض أن هذا الحدث كان متعمداً.

هذا هو السبب في أن حجة أن الحياة المعقدة نادرة في الكون لا تسمح لنا في حدِّ ذاتها باستنتاج وجوب تصميمه. فمثل هذه الندرة يمكن أن تشير ببساطة إلى أن الحياة نادرة ـ ضربة حظ، لما لهذا الكون من فرص ومواقع واسعة. ولهذا السبب، أمكن لـ**دون براونلي** و**بيتر وارد** أن يجادلا في «الأرض النادرة» أن الحياة المعقدة نادرة في الكون، دون أن نستنتج أن الكون

= اللا حتمية الكوانتية. يمكن أن تضمحل البروتونات صدفة، لكن حروف لعبة سكرابل المتساقطة لن تفعل. لذلك ربما يصرّون على أنه لو كنا نملك معرفة كافية بالشروط الأولية، يمكن أن تتبّع موجِّهاً حتميّاً (determining cause) لكل قطعة متساقطة من قطع سكرابل. إننا لا ننوي أن نتخذ موقفاً من هذه الخلافات. إنما نفس ـ هنا فقط ـ الطريقة التي نضع بها عادة تفسيرات سببية في حياتنا اليومية. في هذا المثال، فكرتنا المركزية هي أن قانون الجاذبية لا يحدّد لوحده التكوين المحدّد لحروف سكرابل.

مصمم[1] إن ندرة الظروف الصالحة للحياة والحياة المعقدة نفسها تضاد فكرة أن هذه الحياة تنكشف انكشافاً حتميّاً من قوانين الفيزياء والكيمياء. لكن تلك الندرة وحدها يمكن أن تشير إلى الحظ أو التصميم.

كما أن التعقيد، الذي يكون في بعض الحالات مرادفاً للّا احتمالية، على نفس القدر من الغموض. إذا بعثرت كومة من الأوراق، فإنها ستصبح معقدة جدّاً. حتى إذا ذرتها الرياح بعيداً، سيكون من المستحيل تقريباً حتى لفريق من المهندسين الأكثر اجتهاداً وذكاءً أن يعيدوا ترتيب الكومة كما كانت. فكذلك، إذا أمضى شمبانزي عدة ساعات كتابةً على جهاز كمبيوتر محمول، فإنه سينتج فوضى معقدة للغاية من الحروف. لكن التصميم يلعب دوراً هامّاً في أي حال من الأحوال. وفي الوقت نفسه، غالباً ما يتعلق التعقيد أو الاحتمال الضعيف، بالكشف عن التصميم. وعادة ما يكون شرطاً ضروريّاً، حتى إن لم يكن كافياً. وإحدى الأسباب التي لأجلها يعزو الباحثون في فيلم «الاتصال» تسلسل الأعداد الأولية للكائنات الذكية خارج الأرض هو أن التسلسل غير محتمل. فإننا لا نعلم أية عملية طبيعية تنتج هذا التسلسل. وما هي احتمالات حدوث هذا التسلسل مصادفة؟ لكن القضية لا تكمن في اللا احتمالية فقط؛ لأن أي نمط غير متكرر من الإشارات الراديوية غير محتمل. فكيف يتبينون الفرق؟

النمط الملائم:

إن ما يبدو مطلوباً في كثير من الأحيان هو الجمع بين الاحتمال الضعيف (أو التعقيد) ونمط ملائم، الذي يدعوه عالم الرياضيات والفيلسوف **ويليام ديمبسكي** (William Dembski) تخصيصاً[2] (specification). حينما

(1) Peter Ward and Don Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe* (New York: Copernicus, 2000).

(2) عبّر عن هذا المفهوم لأوّل مرّة وطوره في:

William A. Dembski, The Design Inference (Cambridge: Cambridge University Press, 1998).

ثم وضحه بتفصيل لأجل القارئ العادي في:

= *Intelligent Design: The Bridge Between Science and Theology* (Downers Grove: InterVarsity Press, 1999).

نستدل بالتصميم استدلالاً صحيحاً، فهذا غالباً ما يكون بسبب وجود هاتين الخاصيتين، اللا احتمالية (أو التعقيد) والتخصيص. يقول **ديمبسكي**: إن هذه الخاصية ـ التعقيد المخصَّص ـ وسْم دال على الذكاء.

فكر في جبل رشمور. لماذا نعرف أن وجوه واشنطن، جيفرسون، ثيودور روزفلت، ولينكولن منحوتة على جانب الجبل من طرف نحاتين مهرة ولا نفكر أن بقايا الصخور أسفله قد جمعت عمداً؟ وكلاهما يتوافق مع قوانين الفيزياء، لكن لا قانون يحدد أيّاً منهما. فكل من الوجوه وكومة الصخور شيء معقد. لكن الوجوه فقط تمثل تمثيلاً دقيقاً نمطاً نعرف أن له معنى ـ وهو أشباه الرؤساء الأمريكيين الأربعة. وفي الواقع، حتى لو أنك لا تعرف كيف يبدو هؤلاء الرؤساء فإنك ما زلت تدرك أن تلك الأجسام منحوتة وليست نتاج الرياح والتعرية. ومن الواضح أن بعض العملاء الأذكياء (أو عملاء) اختار هذا الشكل الخاص للصخور من بين ما لا يُعد ولا يحصى من الاحتمالات المتاحة.

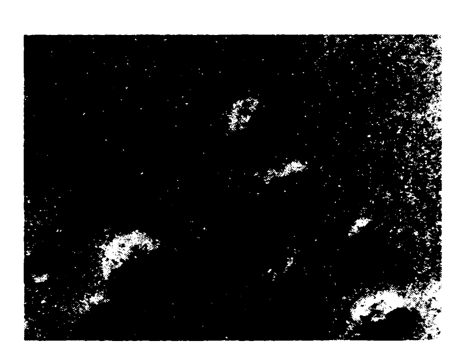
لكن يجب أيضاً أن يكون النمط ضيّقاً/ محكماً بما يكفي. يوجد في صخور نيومكسيكو جبل يدعى بجبل النُّسّاك (Hermit's Peak). يبرز من على الأرض بشكل غير متوقع، ويبدو وكأنه لا يتصل بالجبال من حوله. ويشبه نوعاً ما على مسافة معينة ومن زاوية مناسبة، وجه إبراهيم لينكولن كما لو كان مستلقياً على ظهره، خاصة بالنسبة للمتسلقين الذين يفرطون في احتساء البيرة تحت الشمس الحارقة. لكن لم يفكر أحد بجدية في احتمال أن يكون مشروعاً حكوميّاً سريّاً لخدمات المناطق المفتوحة أو وزارة الداخلية. (ويعرف بأن الجبل يشبه تقريباً روزفل، لكن هذه قصة أخرى). والتطابق بينه وبين وجه

= وواصل تنقيح المفهوم في:

No Free Lunch: Why Specified Complexity Cannot Be Purchased Without Intelligence (Lanham, Md.: Rowman & Littlefield, 2001).

توجد العديد من المشكلات الفلسفية المعقّدة التي تحيط باستدلال ديمبسكي والتي تجنّبنا ذكرها هنا. ومع أن تقريرنا يختلف في جوانب معينة مع تقرير ديمبسكي، إلا أننا ندين بجزء كبير من تحليلنا لأفكاره الخلّاقة.

لينكولن غير دقيق. كما هو الحال بالنسبة للوجه الشهير على المريخ. فهو يبدو قليلاً كوجه من زاوية معينة، ومع دقة معينة للكاميرا والإضاءة؛ لكنه لا يبدو كذلك في ظروف أخرى، بحيث يفتقر إلى النوعية المطلوبة.

● **الشكل ١٥,١: أهمية تخصيص محكم. التقطت مركبة فايكنغ ١ المرسلة من طرف الناسا صورة لـ«وجه على المريخ» سنة ١٩٧٦م (على اليسار)؛ لكن ظهور هذا الوجه كان نتيجة ضعف الدقة وزاوية الإضاءة. فالنقاط السوداء التي تشكل «الأنف» منه كانت مجرد آثار لعملية التصوير. في الصورة عالية الدقة التي التقطها الماسح العالمي للمريخ سنة ١٩٩٨م (على اليمين)، لم يظهر على البنية أي شبه لوجه.**

وبالإضافة إلى ذلك، فلكي يشير النمط بشكل موثوق إلى تصميم، فإنه ينبغي أن يكون مستقلاً استقلالاً تامّاً عن الحدث أو البنية المعنية. وإلا فإننا سنؤول النمط بحسب ما نراه، وهي الطريقة التي نعتمدها مع السّحب أو بقع رورشاخ. عندما يؤول العلماء (بشكل مبدع) النمط بحسب البيانات، فهذا يسمى انتقاءً. مع مجموعة كبيرة بما يكفي من البيانات، من الممكن استخراج البتات المعزولة التي تخضع لنمط. لكن عندما ينظر المرء في مجموع البيانات، فإن النمط يتلاشى. يوضح الفيلم الأخير «عقل جميل» هذه النقطة بشكل لطيف. وهو يحكي قصة الحائز على جائزة نوبل جون ناش، إثر إصابته بالفصام الارتيابي. ونتيجة لمرضه، بدأ يرى رسائل سوفايتية مشفرة مدسوسة في وسائل الإعلام المطبوعة بينما لا توجد أي منها.

يقدم دمبسكي مثالاً آخر يوضح التمييز المهم بين نمط حقيقي وآخر وهمي. إذا رسم رام هدفاً صغيراً على جدار، ووقف على بعد عشرين ياردة، ووضع خمسة سهام في عين الهدف، فإننا سنستنتج أنه ماهر ـ بمعنى أن

الحدث يتخلله تصميم متقن. وعين الهدف هو النمط، وهو مستقل استقلالاً تامّاً عن إطلاق السهام. ثم إن الهدف ليس كبيراً. ولو كان كذلك، لما كان تطابق النمط دقيقاً كفاية؛ لأنه سيكون من السهل جدّاً على الرامي أن يسدد عين الهدف. ومن جهة أخرى، إذا أطلق الرامي طلقة واحدة على جدار كبير خال، ثم رسم الهدف حول السهم، فإن النمط سيكون مطابقاً. ومهما بلغت دقة التطابق، ومع ذلك فهذا مجرد اختلاق؛ لأن النمط ليس مستقلّاً عن الحدث. لذلك فإننا لن نتمكن من تحديد ما إذا كان الرامي ماهراً.

عندما نستنتج التصميم، فإننا نستفيد دائماً من الخلفية المعرفية الهامة التي تمكننا من التعرف على النمط المناسب عندما نراه. لم يكن في إمكان باحثي السيتي في «الاتصال» ليدركوا أن تسلسل الأعداد الأولية كانت إشارة ذكية إذا لم يعرفوا شيئاً حول الأعداد الأولية. لم يكن في وسع الذين لم يطلعوا على الرياضيات أن يدركوا أن الإرسال لم يكن عشوائيّاً.

وبالطبع يوجد المزيد مما يمكن قوله عن كيفية الكشف عن التصميم. فمثلاً، يتميز العديد من الأنماط بعلامات إضافية تعزز من ثقتنا في أنها مصممة. يلاحظ فيلسوف العلم **ديل راتسش** (Del Ratzsch) أن الحجج على التصميم ـ تاريخيّاً ـ لبعض البنيات الطبيعية تنطوي «دائماً تقريباً على قيمة»، نربطها بمعنى، الذي عادة ما يتعلق بالذهن والمقصود[1] ومن الصعب تحديد هذه القيمة، لكننا نعرفها عادة إذا رأيناها. للفن والموسيقى من القيمة ما ليس للضوضاء. وللسيارة التي تعمل من القيمة ما ليس لخردة معدنية. ومثل ذلك، فالكائن الحي، بتعقيده المتشابك ووظائفه المتعددة، له قيمة جوهرية تفتقر لها الجمادات، تماماً كما للكون الصالح للحياة قيمة جوهرية يفتقر لها كون غير صالح للحياة. لذلك فعندما نستنتج التصميم، فإننا غالباً ما نصدر حكماً نوعيّاً/ كيفيّاً له جانب إيجابي وجانب سلبي. فنحكم أن الصدفة أو القانون الطبيعي الأعمى غير محتمل أو غير قادر على إنتاج بعض الأحداث أو الأشياء، ثم

---

(١) Ratzsch, *Nature, Design, and Science*, 72-73.

نلاحظ بعض السمات؛ كالقيمة، التي نميل أن نربطها بعملاء أذكياء.

التصميم الكوني:

علينا أن نعدل هذا التفسير قليلاً؛ لأن الكشف عن تصميم داخل العالم الطبيعي يمكن أن يكون مختلفاً عن الكشف عن تصميم العالم الطبيعي نفسه. عادة ما نعرف أن شيئاً مصمماً من خلال مقابلته مع ما يمكن للقوانين الطبيعية والصدفة القيام به من تلقاء نفسها. تتسم الكائنات المصممة بما يدعوه **ديل راتسش** بالتدفق المعاكس (counterflow). وهي تقابل الطريقة التي ستسير الطبيعة وفقها لو تركت لتعمل بحرية. إذا كانت الأحداث أو الأجسام مصممة، فإنها تخرج عن إطار بنيات الطبيعة وأنشطتها. وكان هذا التدفق المعاكس على الأقل سبباً جزئيّاً في تحديد المستعمرين القمريين في (٢٠٠١م) العمود الحجري بوصفه قطعة أثرية عوض صخرة موهوبة هندسيّاً. إذ عادة ما تكون الصخور العادية «الطبيعية» أكثر من حيث الشكل. فهي لا تتميز بزوايا هندسية مثالية بخلاف المونوليث، والصخور القمرية، والصخور الكبيرة بشكل عام. أحياناً نرى أشكالاً هندسية مثالية في الطبيعة على المستوى المجهري في الكوارتز وغيرها من المعادن الخالصة. ونرى بنيات كروية مثل الكواكب والنجوم على المستوى العياني. لكن مستطيلاً هندسيّاً مثاليّاً كبيراً وأسود، على «المقياس الإنساني» يخرج عن البنية غير النظامية لسطح القمر، ويعرض مميزات نميل لربطها بعملاء أذكياء.

لكن كيف يمكننا أن نحدث هذا التقابل عند محاولة تحديد أصل الطبيعة والقوانين الطبيعية نفسها؛ لأننا لا نتوفر على خلفية نعتمد عليها لإجراء المقابلة؟ في الواقع، كما لوحظ سابقاً، نميز في العالم الطبيعي بين الأحداث والأشياء التي هي نتاج الضرورة الطبيعية والأحداث والأجسام التي تم تصميمها. كيف يمكننا إذاً أن نعرف ما إذا كانت الطبيعة وقوانينها مصممة ومضبوطة؟ ما هي الخلفية ذات الصلة التي نتبين بالاعتماد عليها نمطاً ذا معنى؟

سواء أدركنا ذلك أم لم ندرك، في تقييمنا للضبط الدقيق الظاهر في الكون، نميز بين «الضرورة» المنطقية والطبيعية. عندما يتحدث العلماء عن الضرورة الطبيعية؛ فإنهم يشيرون إلى ما سيحدث بالنظر إلى قانون الجاذبية مثلاً، طالما ليس هناك أي تدخل من طرف العملاء؛ فمثلاً، إذا رفعت كرة عن سطح الأرض، فإنك لم تنتهك قانون الجاذبية؛ بل تدخلت فقط في مسار عملها العادي؛ إذ لا يوجد شيء ضروري بالمعنى المنطقي في قانون الجاذبية. لا يوجد مبدأ للمنطق يتطلب أن تكون الجاذبية على هذا النحو. فقانون التربيع العكسي ليس على نفس مرتبة ٣ + ٢ = ٥ أو العبارة «جميع العزاب غير متزوجين». لم يكن قسراً على قانون الجاذبية أن يتصف بالخصائص الحالية التي يتصف بها. أو للتعبير بشكل مختلف، كان يمكن للأشياء أن تخضع لقوة جاذبة مختلفة عن الجاذبية كما هي في كوننا. هناك عوالم ممكنة أخرى تتميز فيها الجاذبية (أو قوى نظيرة لها) بخصائص مختلفة.

عندما نقول: إن قوانين الفيزياء تبدو مضبوطة بدقة، فإن ما نقوله هو إنه بخلاف العديد من الأكوان الممكنة الأخرى في «جوار الكون»، يتوفر كوننا على القوانين التي تجعله صالحاً للحياة. إننا نقابل قوانين الكون الفعلي مع الأكوان المماثلة الأخرى (وإن كانت افتراضية) مع قوانين مختلفة قليلاً، وكذلك مع البحر اللا نهائي من الأكوان الفوضوية غير المنتظمة التي من الممكن أنها وجدت. كما أننا ندرك تمييزاً هامّاً بين الأكوان الصالحة للحياة وغير الصالحة. (وقد أشرنا إلى هذا ضمنيّاً في الفصل الثالث عشر، لكننا لم نفصِّله بوضوح) يمتاز الكون الصالح للحياة عن العديد من الأكوان المماثلة الممكنة لكن غير الصالحة للحياة. كلما زادت معرفتنا، أدركنا أننا لو اخترنا خصائص كون بشكل عشوائي، فمن المرجح أننا لن نعثر أبداً على كون صالح للحياة. وبعبارة **ديمبسكي**، يبدو كوننا ومكاننا وزماننا فيه مخصصاً لإنشاء هذه الظاهرة التجريبية الأكثر تعقيداً: الحضارة التكنولوجية. على عكس معظم الأكوان الافتراضية بجوار كوننا. تخضع بعض الأجسام والأحداث إلى حساب دقيق للاحتمالات. والأمر ليس كذلك بالنسبة لكثير من الأكوان

الممكنة بما في ذلك الكون ككل (إلا إذا قيدنا مجال الأكوان الممكنة المعتبرة) دعونا الآن نفترض أنه لا يمكننا تحديد لا احتمالية الضبط الدقيق للقوانين والثوابت الأساسية تحديداً دقيقاً، وأنه لا يمكننا سوى مقارنة كوننا مع مجموعة من الأكوان الممكنة في «الجوار»؛ بمعنى: أنه يمكننا مقارنته مع الأكوان الممكنة الأخرى التي تختلف فيها الثوابت الأساسية اختلافاً طفيفاً. تؤدي هذه المقارنة إلى الانطباع القوي أن نطاق الأكوان غير المستضيفة للحياة يتجاوز بشكل كبير نطاق الأكوان المستضيفة في هذا الجوار.



● **الشكل ١٥,٢: قام الفيلسوف وعالم الرياضيات ويليام ديمبسكي بعمل أساسي في إضفاء الطابع الرسمي على الأوجه المهمة لكيفية الكشف عن نشاط عملاء أذكياء.**

والاعتراض الشائع على هذه الحجة هو أنه مهما كان وجود كوننا هذا «غير محتمل» فهو ليس مستبعداً ـ من الناحية الاحتمالية ـ بشكل أكبر مقارنة

بالأكوان الممكنة الأخرى. ونستطيع الآن أن نرى لم لا يكون هذا الاعتراض مقنعاً. فهو ليس احتمالاً مستبعداً بسيطاً يقودنا إلى الاعتقاد أن هناك شيئاً مريباً يحتاج إلى التفسير، إنه وجود نمط غاية في الأهمية، نمط نملك أسباباً لربطه بوكالة ذكية. هناك طريفة مشهورة عن رجل عاد إلى منزله باكراً ليجد زوجته في السرير وجاره الوضيع مجرداً من ملابسه مختبئاً في خزانة الغرفة. وعندما يستجوبه الزوج، يجيبه الجار بلا مبالاة، «يجب على كل شخص أن يكون في مكان ما». إن السبب الذي لأجله لا أحد يقبل هذا الإيراد الحكيم لنظرية الاحتمال هو أن هناك نمطاً ذا معنى من الظروف، ومشبوهاً للغاية في هذه الحالة.

وفيما يتعلق بالدور الحاسم للأنماط (ذات معنى)، كما ذكرنا أعلاه، عادة ما تنطوي حجج التصميم، على حكم ضمني للقيمة. يعترف الجميع عند النظر في الأكوان ـ إلا إذا كانوا يحاولون تفادي استنتاج يجدونه بغيضاً ـ أن الكون الصالح للحياة الذي يحتوي على مراقبين أذكياء يضم قيمة جوهرية يفتقدها الكون غير الصالح للحياة. إن للكائنات الحية قيمة لا تعرفها الجمادات وإن تعذر الوصف. تعود هذه القيمة إلى كون يسمح بوجود حياة معقدة. ويعترف المنظرون اعترافاً ضمنيّاً أنهم يتشاركون هذا الحكم عندما يحاولون تفسير حقيقة أن كوننا يبدو مضبوطاً بدقة لوجود حياة معقدة.

الارتباط بوصفه نمطاً ذا معنى:

وبالطبع، فهذه الحجة نظرية جدّاً: علينا أن نقارن خصائص الكون الحالي مع غيره من الأكوان الممكنة. وهذا ليس عيباً مصيريّاً، فربما يكون نقصاً؛ لأننا نتوفر على كون واحد فقط للملاحظة. يجب أن تكون مقارناتنا وسطية باعتبار الأحكام النظرية حول الأكوان الممكنة الأخرى. وفي المقابل، فالعلاقة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس تجريبية أكثر؛ لأنها تسمح بالمقارنات داخل الكون المرصود. وباعتبار الكون كمعطى مسلّم به، يمكننا مقارنة ومقابلة الشروط اللازمة لصلاحية الحياة وقابلية القياس، ويمكننا، على

الأقل من الناحية النظرية، إجراء حسابات محددة تقريباً حول احتمالات كلّ منها على حدة. إن هذا الكون الذي نوجد فيه كبير جدّاً ويحتوي على تشكلات متنوعة ومتعددة من الكواكب والنجوم والمجرات. وإن البيئات المتفوقة من حيث صلاحيتها للحياة وقابليتها للقياس مميزة إذا نظرنا إلى غالبية المناطق الأخرى من الكون.

وهذا لأن هذه الظروف غير محتملة بشكل كبير، أو على الأقل نادرة جدّاً، يمكننا أن نرى أن الارتباط يشكل نمطاً مهمّاً. إذا كان الكون منسجماً تماماً بهذا المعنى ومتناسباً في كل مكان مع المراقبة والمراقبين، فإن أفضل ما يمكن أن نقوله هو أن الكون منفتح عموماً على الاكتشاف العلمي، وأنه ـ بمعنى ما: ـ «صريح بشكل منطقي»(١) ربما يبدو هذا إيحائيّاً، لكننا لن نحظى بأي شيء ملموس يقابل محيطنا القريب. وبما أن الأمر كذلك فإننا نعلم أن قوانين الفيزياء والظروف الأولية، المضبوطة في حدٍّ ذاتها، توافق مجموعة واسعة من الظروف المحلية، قلة منها صالحة للحياة. وإنه لمن المثير للاهتمام والدهشة أن نجد أن تلك الأماكن القليلة القابلة للسكن هي أيضاً الأكثر ملاءمة لشتى أنواع الاكتشافات العلمية.

ولاستنباط تصميم بشكل موثوق، يجب أن يكون النمط عادة مستقلّاً عن الحدث أو الجسم المعني كما ذكرنا سابقاً. كما يجب علينا أن نكون موضوعيين عند قراءة النمط الخاص بالحدث، وألا نفرض عليه نمطاً من عندنا؛ على سبيل المثال: هناك نمط مطابق بين وجود البيئات القابلة للسكن والحياة، ولن نجد الحياة إلا في الأماكن الصالحة لها، وهي نادرة للغاية. ومع ذلك فمن الواضح أن هذين العنصرين مرتبطان؛ لأن الحياة لن توجد ضرورة إلا في المناطق حيث يكون وجودها ممكناً. ولا ينبغي لأحد أن يتفاجأ إذا وجد أن الكائنات الحية تقتصر على بيئات تلائم وجودها، إشارة

---

(١) هذه الجملة مقتبسة من خطاب علني ألقاه السير جون بولكينغهورن (John Polkinghorne) في محاضرة بعنوان: *Cosmos and Creato*، عقدت في سياتل، واشنطن، بتاريخ ٢٧ أبريل/نيسان ٢٠٠١م.

إلى المبدأ الأنثروبي الضعيف. ربما يكون هذا الوضع ناتجاً عن التصميم، لكن هذا النمط وحده يوفر أدلة غير مؤهلة للاستنباط.

وفي المقابل، ليس هناك سبب واضح لنفترض أن البيئات الصالحة للحياة ستكون أيضاً الأكثر ملاءمة لمختلف أنواع الاكتشافات العلمية. فصلاحية الحياة وقابلية القياس خاصيتان مختلفتان؛ إذ يمكننا تجميع قائمتين منفصلتين من الخصائص التي تساهم في كلٍّ منهما. كما يمكننا تحليل إحداها دون الرجوع إلى الأخرى. ليس هناك ارتباط ضروري من الناحية المنطقية بين الاثنتين.

بالإضافة إلى ذلك، فإن الدرجة العالية لتلاؤم البيئة المحلية مع الاكتشاف العلمي لا يمكن أن تعزى إلى تأثير الانتقاء كما هو الحال بالنسبة لقابلية القياس أحياناً[١] وبينما توفر الظروف التي تتطلبها صلاحية الحياة هذه الدرجة العالية لقابلية القياس، فإن هذه القدرة على القياس في حد ذاتها نادرة، هذا إن كانت ضرورية لوجودنا. فوجود ظواهر الكسوف الشمسي الكامل مثلاً أو الرواسب القطبية الجليدية المستقرة أو حلقات الأشجار، أو القدرة على رؤية النجوم أو تحديد درجة حرارتها أو إمكانية الوصول إلى إشعاع الخلفية الكونية لم يكن ضروريّاً لاحتياجات الإنسان القديم. بمعنى: أن المعرفة المستمدة من هذه الظواهر لم تشكل أي فائدة للبقاء على قيد الحياة بالنسبة لأسلافنا.

وإذا كنا لا نعرف، ربما يصل بنا الأمر أن نتوقع أن صلاحية بيئة للحياة يمكن أن تقلل من قابليتها للقياس. لنأخذ الفضاء البيمجري على سبيل المثال: من الواضح أنه متدن على مستوى صلاحية الحياة، لكنه «أفضل» لرؤية المجرات البعيدة من سطح كوكب يتوفر على غلاف جوي. وقد نظن أن

---

(١) مع ذلك هناك نوع آخر من تأثير الانتقاء ويمكن أن يكون وثيق الصلة بالموضوع. قد يعترض أحدهم بأننا سنجد أن بيئتنا تجعل هذه الاكتشافات التي قمنا بها ممكنة لأننا لا نستطيع أن نكتشف إلا ما تسمح لنا بيئتنا باكتشافه. سنناقش هذا في الفصل التالي.

هذا صحيح بشكل عام. وربما كان هناك أرسطو وبطليموس ثانيان ليفترضا بشكل معقول أن موقعاً يتوفر على ظروف الحياة كلها قد يعيق معرفتنا للكون. لكن حينما نجمع بين الظواهر المختلفة التي تحتاج إلى القياس والمراقبة، يتضح أن العكس هو واقع الحال.

إننا **مندهشون** بشكل ما لاكتشاف أن هذه الشروط مرتبطة فيما بينها في الكون الحالي. وهذا الاكتشاف يستدعي تفسيراً أبعد من استحضار حظ أعمى أو ضرورة. إنه على الأقل صدفة صارخة. مثلما لاحظت بحكمة الآنسة ماربل البطلة المحققة لأجاثا كريستي: «إن الصدفة أمر يستحق الاعتبار دائماً. ويمكنك دائماً أن تتجاهل ذلك في وقت لاحق إذا كانت فقط مصادفة»[١] بمعنى: إذا كانت فقط بسبب الحظ. لكن يبدو أن الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس شيء أكبر من أن يكون نتاج الحظ؛ بل على العكس من ذلك، إنه نمط غريب لافت للنظر.

وإذا كنا غالباً ما نفضل تفسيراً بعينه فلسبب واحد وهو: أنه يبدد إحساسنا بالمفاجأة. ويمنحنا ما يدعوه الفيلسوف **جون ليزلي** (John Leslie) بـ«التفسير المرتب»[٢] يتيح التّصميم مثل هذا التّفسير هنا. فكّر في الأمر على هذا النّحو: إذا كان الكون المادّي مصمّماً بحيث يجد المراقبون أنفسهم في بيئة موصلة إلى العديد من الاكتشافات العلمية المتنوّعة، فإنّ الارتباط سيكون ما كان متوقّعاً. وإن كان هذا الدّليل لا يثبت أن الكون مصمّم، فلا جرم أنّه يؤكّد ذلك. وبعبارة أخرى، إذا افترضنا أن الكون مصمّم على الأقل جزئيّاً ليسمح لمراقبين أذكياء بإجراء الاكتشافات، فإن العلاقة بين الحياة والاكتشاف

---

(١) وكما هو الحال في محاولات تفسير ظهور الضبط الدقيق، نعتقد أنه ستكون هناك محاولات لتفسير الارتباط. والعجيب أن هذه المحاولات قد تكون اعترافاً ضمنيّاً بأن الارتباط ـ إذا كان موجوداً بالفعل ـ يوحي بالتصميم.

(٢) انظر: (John Leslie, Universes London: Routledge, 1989). وهذا النوع من الحجج موضوعيٌّ نوعاً ما إذا ما نُظر إليه بشكلٍ مستقلٍّ. ومع ذلك فمن حيث إنه إضافةٌ للتحليل السابق، يبدو أنه يضبط أحد الأسباب التي تدعونا عادة إلى استنتاج التصميم.

الذي نلاحظه هي ما يمكن أن نتوقّعه. وفي المقابل، إذا كان الكون موجوداً بالصّدفة وإذا كان المراقبون الأذكياء كالبشر مجرد خَبَث نادر بلا هدف في هذا الكون اللّا مبالي فإنّنا لن نتوقّع هذا. وسيكون حظّاً لا يمكن تفسيره. مهما كانت الاحتمالات الدّقيقة، فمنِ الواضح أن الترابط أكثر احتمالاً بالنّظر إلى التّصميم في مقابل الحظ (الذي يعني هنا: «لا تصميم»). ففكرة كون مصمم للاكتشاف تبدّد إحساسنا بالمفاجأة، وليس الأمر كذلك إن نحن تجاهلنا التّصميم لصالح الحظ أو أي عملية مجرّدة غير مقصودة.

كما أن سيناريو الكون المتعدّد (غير المصمّم) ضعيف؛ لأنه لا يجعل وجود أي كون معين أكثر احتمالاً في الواقع، إنّه عشوائي تماماً. بغضّ النّظر عن نوع الكون الذي كان موجوداً ـ كون من الهيدروجين النّقي، أو كون ذو ثقب أسود، أو كون فوضوي تماماً ـ فإنّه سيكون متوافقاً مع فرضية متعدّد الأكوان (وبالطبع، ما كان لأحدٍ أن يرغب في أن يكون هناك لبناء فرضية، لكن هذه قضية أخرى). حتّى إنّ أغلب أكوانه الصّالحة للحياة لن تضمّ واحات صالحة للحياة للمراقبين، وتكون أيضاً أفضل الأماكن العامّة للمراقبة. الأمر ليس كذلك مع وجود التّصميم. إنّنا ندرك جميعاً القيمة والفائدة الجوهرية لكون **قابل للاكتشاف** ومتسق مع مراقبين معقدين يعيشون مثلنا، والتي ستكون مفقودة في الأكوان الأخرى. مثل الفوز في اليانصيب مرتين في جولة واحدة، يعتبر إيجاد هؤلاء المراقبين بالضبط حيث يمكنهم القيام بأفضل الاكتشافات المتنوعة أمراً مميزاً بشكل مضاعف. هذا هو نوع الكون الذي سيكون شخصاً ذكياً مهتماً بتصميمه[١] إنه نمط مريب، ونحن نعلم ذلك.

وفي هذه الحالة، يبدو أن النمط الذي نكتشفه قد تم نقله عن طريق القوانين الطبيعية والشروط الأولية، ومع ذلك فهي شروط وقوانين تتيح قدراً

---

(١) بخصوص هاتين النقطتين، انظر: المقال الموجز الممتاز الذي قدمه نيل مانسون،

"Cosmic Fine-Tuning, Many Universe Theories and the Goodness of Life," in *Is Nature Ever Evil*, William Drees, ed. (London: Routledge, 2003), 139-146.

كبيراً من الحرية على الصعيد المحلي. إن التصميم ـ بقدر ما يمكننا أن نقول ـ مُسَجًّى أو مشفر في القوانين والشروط الأولية ذاتها، وفي هذه الحالة يصبح الكون نتاج صنع الذكاء نفسه. ومع أن هذا يختلف عن طريقتنا المعتادة في الكشف عن التصميم داخل العالم، لا يوجد سبب من حيث المبدأ يمنعنا من الكشف عن تصميم منقول عبر القوانين.

تخيل أنه، في عام ٢٠٣٠م، تصبح الولايات المتحدة والصين عدوين لدودين، وعبر تحول معقد للأحداث بقدر تعقيد العلاقات الدولية، تقف الدولتان على شفا الحرب. وفي يوم عيد الميلاد، يجتمع الدبلوماسيون الأمريكيون والصينيون في القدس ليبدؤوا جولتهم النهائية والهشة من المفاوضات. وفي منتصف الليل في القدس وبينما يحاول الدبلوماسيون احتساء كوب آخر من القهوة، يلاحظ بعض علماء الفلك الإسرائيليين نمطاً جديداً مدهشاً من الحفر على القمر. وعندما صوبوا تلسكوباتهم بدقة، أبانوا عن مجموعة من الحفر المتطابقة، والتي تعبر بصورة دقيقة للغاية عن «الْمَجْدُ للهِ فِي الأَعَالِي، وَعَلَى الأَرْضِ السَّلَامُ، وَبِالنَّاسِ المَسَرَّة» باللغة الإنجليزية والماندرين الصينية. يؤكد علماء الفلك الأمريكيون والصينيون أن الحفر تشكلت تحت تأثير اصطدامات متزامنة لمجموعة كثيفة من الكويكبات تتحرك في مساراتها الطبيعية عبر النظام الشمسي. وعلى قدر علمهم، تم توسيط النمط عن طريق القوانين الطبيعية والشروط الأولية للانفجار العظيم. لم تكن الكويكبات مضطربة في دوراتها العادية. ومع ذلك ما زال الجميع يدرك الخدعة. إن مثل هذه التشكلات الحفرية المحددة بشكلٍ عال ليست نادرة فقط بل فريدة من نوعها، ومن الواضح أن اللغة الإنجليزية والماندرين الصينية مستقلة عن الاصطدامات، ونمط الحفرة يطابقها تطابقاً وثيقاً. كما أن توقيت تشكل الرسالة يناسب بشكل محكم الأحداث العالمية. وبعبارة أخرى، فالحدث محتمل بشكل كبير إذا افترضنا وجود الخدعة.

وبالمثل، فإن البيئات الصالحة للحياة نادرة للغاية. تشكل حقيقة أنها أيضاً أفضل الأماكن العامة للاكتشاف العلمي نمطاً مستقلاً. لذلك نملك سبباً

وجيهاً لنشك أن الأمور قد رتبت عمداً، حتى لو نتج هذا عن طريق التفاعل بين القوانين الطبيعية والشروط الأولية.

لا يوحي الارتباط بالتصميم فحسب؛ بل بتصميم يحمل غاية محددة. غالباً ما يكون الكشف عن التصميم أسهل من إدراك الغاية أو المعنى. فالمتاحف مثلاً، تحتوي في غالب الأحيان على قطع أثرية يبدو واضحاً أنها مصممة مع أن الغاية من صنعها كانت مفقودة بالنسبة للعصور القديمة. وبالمثل، فإن المستعمرين الأمريكيين في «٢٠٠١: ملحمة الفضاء» كانوا يعلمون أنهم يتعاملون مع قطعة أثرية (فضائية) غريبة، مع أنهم كانوا لا يملكون أدنى فكرة عما هي أو ما تقوم به.

ومع ذلك فإن اكتشاف الغاية يعزز في غالب الأحيان ثقتنا بأن شيئاً ما قد تم تصميمه. فعلى سبيل المثال، يمكن لمحقق أن يكون متأكداً إلى حدٍّ ما أن زوجاً قتل زوجته. ومع ذلك، إذا اكتشف أن الزوج قد حصل مؤخراً على وثيقة تأمين على حياة زوجته فإن هذا يزيد من ريبته.

مع وجود الارتباط، لا يوجد النمط الذي ندركه في جسم معين؛ بل هو حالة خاصة، لكن هذا لا يمنعنا من رؤية النمط. ضم الموسم الأول رخيص التكلفة من ستار تريك حلقة بعنوان «الميدان». تتمحور القصة حول جنس فضائي متطور، المترونات (the Metrons)، الذين قبضوا على الكابتن كيرك وعلى كابتن مركبة فضائية أخرى، من جنس غورن (Gorn). ولكي يعاقب المترونات الكابتن كيرك لغزوه الفضاء الخاص بهم، قاموا بنقل كيرك وكابتن الغورن إلى كوكب غير مأهول يصارعون الموت، يخبرونهما أنهم ـ المترونات ـ سيوفرون الأسلحة. لكن بمجرد نقلهما، يدرك كيرك وكابتن الغورن أنه لا تظهر أية أسلحة سوى الصخور الكبيرة.

وإن كان يبدو الغورن الذي يشبه السحلية قويّاً جدّاً، فإن كيرك يبدو إلى حدٍّ ما أكثر ذكاءً. قبل فترة طويلة، لاحظ كيرك وفرة قوية لبعض المعادن مثل الماس، والكبريت، ونترات البوتاسيوم (مِلح البارود)، والفحم. فيصيح متعجباً: «إن هذا المكان هو حلم كل باحث في علم المعادن!»، ثم اعتراه

الفزع لأنه لم يستطع أن يجد شيئاً بسيطاً ذا فائدة مثل ناد كبير.

لكنه أدرك في نهاية المطاف أن جميع مكونات البارود موجودة، مع المادة المعروفة الأكثر صلابة ـ الماس ـ للقذائف. فبدلاً من أن توفر له المترونات الأسلحة جاهزة، قامت بتزويده بالمكونات التي تتطلب منه إعمال ملكاته الخاصة. ولما فهم ما أعد له، بدأ في البحث عن بقية المواد التي يحتاجها. وسرعان ما وفق في إيجاد شيء على شكل جذع شجرة مجوف يمكنه من بناء مدفع. أصاب كيرك الغورن بطلقة واحدة، لكن قرر ألا يقتله. وهكذا أنقذ نفسه وهو يعجب لدهاء المترونات وقدرتها على الرحمة.

ومع أن ذكاء كيرك كان شرطاً ضروريّاً لنجاحه، فمن الواضح أن محيطه أعد لهذا الغرض. والواقع أن الحالة كانت تحدياً مناسباً أكثر مما يمكن أن يكون مخبأ بسيطاً للأسلحة؛ لأنه من الواجب على كيرك أن يعمل مهاراته الفكرية لصنع سلاح لنفسه. لكن أي مستوى من العبقرية لن يسمح لكيرك بصنع مدفع دون توفر المكونات المناسبة. فوجود العناصر المتعددة المختلفة، كلها ضرورية لصنع مدفع، ليست مجرد صدفة. ونحن نعلم هذا جزئيّاً لأن الكواكب المزودة تزويداً جيداً، من بين الكواكب المتعددة في الكون، قليلة، حتى تلك التي تبدو بشكل ملحوظ كأجزاء معينة من جنوب كاليفورنيا. إننا نرى أن الوضع قد تم ترتيبه عمداً للسماح لساكن على قدر من الذكاء بصنع مدفع. في الواقع، بدأنا ندرك أن المترونات جنس ذكي للغاية خاصة بسبب المناسبة الملحوظة بين «الميدان» والخلفية المعرفية لكيرك. ولو أن هناك حضارة أقل تطوراً لوضعت كيرك وكابتن الغورن في حلبة قتالية مجهزة بالأسلحة، كما هو الحال في عنوان القتال لاتحاد المصارعة العالمية. قدمت المترونات لكيرك وكابتن الغورن تحدياً حقيقيّاً.

يمكننا أن نلاحظ غالباً أن نمطاً في مثل هذا الوضع قد تم تصميمه، حتى لو كنا نجهل بعض الحقائق الأساسية الأخرى. ولكن ماذا عن الوضع الذي تطرقنا له في هذا الكتاب؟ هل يشبه هذا الوضع؟ لنعتبر هذا التوضيح الأخير. تخيل متسلقاً يقرر أن يتسلق جبلاً عالياً مقفراً على جزيرة هاواي.

دون أن يكون في علم المتسلق أنه جبل مونا كيا. حتى أنه يعرف القليل جدّاً عن علم الفلك والجغرافيا لدرجة أنه عندما يصل إلى الأعلى، يُفاجَأ برؤية أبنية متعددة من صنع الإنسان. وتكشف عملية تفتيش عن كثب ـ من بين أمور أخرى ـ عن مرصدين كبيرين يلوحان من فتحتين من القباب البيضاء الضخمة. وعلى الرغم من أنه لا يعرف مراصد كيك المعروفة، أو أي شيء حول كيفية بنائها، فهو يدرك أنها مراصد. لكن الذي يهمنا، أنه يعلم لماذا تحط فوق هذا الجبل وليس وسط مدينة هونولولو مثلاً. يضع علماء الفلك المراصد حيث تتوفر أفضل ظروف الرصد. فالمراصد لا توجد على قمم الجبال بسبب ضرورة عمياء للطبيعة. إنها تحط هناك لسبب وجيه. وأن نناشد الصدفة في هذه الحالة ليس تفسيراً أبداً.

وعلى نحو مماثل، فبيئتنا تكتنف العديد من العناصر النادرة والمختلفة المهمة للغاية للقيام بالاكتشافات والملاحظات العلمية. وهذه العناصر نفسها تجعل بيئتنا قابلة لاستضافة وجود مراقبين. والأماكن النادرة مع وجود المراقبين هي أفضل الأماكن العامة للمراقبة. إذا كان بإمكان متسلق آخر ذي معرفة قليلة، أن يفهم الهدف من وضع المراصد على الجبال العالية، فينبغي أن نكون قادرين على رؤية الغاية في هذا الارتباط الصارخ. وبالتالي فإن هذا النمط ليس مستقلاً فحسب، إنه نمط ذو معنى، شأنه في ذلك شأن المراصد التي تعلو قمة مونا كيا.

تلميحات النمط:

لكن إذا كان الارتباط نمطاً ذا معنى، فلماذا لم يلاحظ ذلك إلا قلة؟ ولعل أحد الأسباب أن أغلب من اطلعوا على الأدلة المتعلقة بالموضوع ثُبّطوا عن أخذ التصميم في الاعتبار، أو الحديث عنه علناً. ومن المؤكد أن هناك سبباً آخر وهو أن الكثير من الأدلة اللازمة لبناء حجتنا حديثة العهد إلى حدٍّ ما. ومع أن لا أحد طوّر الحجة بأي قدر من التفصيل، إلا أن البعض ألقى نظرة خاطفة عنها. لاحظ كل من عالم الأحياء **مايكل دينتون** والمؤرخ **هانز**

بلومنبرغ بشكلٍ مستقلٍّ التلاؤم المذهل بين غلاف جوي صالح للحياة وآخر شفاف نسبيّاً وبالتالي مفيد علميّاً[1] وقد صادفنا خلال عملنا على هذا الكتاب المقطع التالي **لدينتون**:

إنّ ما يلفت النّظر هو أنّ كوننا لا يبدو أنّه يتلاءم تماماً مع وجودنا وتكيّفاتنا البيولوجية فحسب؛ بل يتلاءم أيضاً مع فهمنا. فمنزلنا الكوكبي المائي، ببيئته التي تحتوي على الأوكسجين، ووفرة الأشجار، وبالتّالي الخشب وبالتّالي النّار؛ مناسب بشكل مدهش ليساعدنا في مهمّة فتح باب الطبيعة. كما أنّ وجودنا على يابسته بدلاً من باطنه أو في محيطه يمنحنا امتياز النّظر بعيداً في اللّيل إلى المجرّات البعيدة واكتساب المعرفة حول البنية العامّة للكون. ولو كنا نقع في مركز المجرّة، لما أمكننا أبداً أن ننظر إلى جمال مجرّة حلزونية أو نملك أيّ فكرة عن بنية الكون. وما كنّا لنرى أبداً مستعراً أعظمَ أو أن نفهم العلاقة المبهمة بين النّجوم ووجودنا[2]

لم يطور أبداً الحجة أو يجادل بشكل واسع في عمق الارتباط، لكن من الواضح أنه يتتبع نفس الأثر. وبالمثل، ناقش الفيزيائي **جون بارو** (John Barrow) قيمة الكون بثلاثة أبعاد مكانية بالنسبة للحياة والوثوقية العالية لنقل المعلومات المفيدة جدّاً للاكتشاف العلمي[3]

ولكي نعيد إلى الذهن ما ذكرناه في الفصل الأول، جادل مؤرخ العلوم **ستانلي جاكي** (Stanley Jaki) مؤخراً، أن نظام الأرض والقمر لا يساهم فقط في صلاحية الحياة على الأرض؛ بل أيضاً في الاكتشاف العلمي[4] فيستبق كل من **مايكل منديلو** (Michael Mendillo) **وريتشارد هارت** (Richard Hart)

---

(١) Hans Blumenberg, *The Genesis of the Copernican Revolution*, Robert M. Wallace, trans. (Cambridge: MIT Press, 1987), 3.

التي نشرت في الأصل بعنوان Die Genesis der kopernikanischen Welt سنة ١٩٧٥م.

M. J. Denton, *Nature's Destiny* (The Free Press, New York, 1998), 50-61.

(٢) *Nature's Destiny* 262.

(٣) John Barrow and Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 258-276.

(٤) S. L. Jaki, *Maybe Alone in the Universe After All* (Pinckney, Mich.: Real View Books, 2000).

من جامعة بوسطن الاكتشاف الذي تم وصفه في الفصل الأول. وفي عام ١٩٧٤م، قدما ورقة بعنوان «الكسوف الشمسي الكلي، الحياة في الفضاء الخارجي، ووجود الإله»، والتي نقلتها لاحقاً مجلة «الفيزياء اليوم» واقتبست منها[1] وجادلا، بدقة ساخرة، ما يأتي:

مبرهنة: الكسوف الشمسي الكلي تماماً ظاهرة فريدة من نوعها في النظام الشمسي.

موضوعة: يوجد مراقبون على الأرض ليشهدوا الحدث الرائع لكسوف شمسي كلي معين.

نتيجة: سيشهد نظام كوكب ـ قمر ظواهر كسوف شمسي كلي معينة، فقط إذا كان يوجد شخص هناك لمراقبتها. وبما أن الأرض هو الكوكب الذي يحقق هذا الشرط المطلوب، إذن ليس هناك حياة فضائية خارجية في النظام الشمسي.

لازمة في نظام يتكوّن من تسعة كواكب و٣٢ قمراً، وأن تحظى الأرض بالضبط مع قمرها الوحيد بكسوف شمسي كلي لحدث استثنائي جدّاً لدرجة أنه يتجاوز أن يكون نتيجة للصدفة.

وبالتالي، يوجد **إله**.

على الرغم من أن حجتهما ساخرة، إلا أنها تثير حدسنا بأن هناك شيئاً مريباً حول إيجاد أفضل ظواهر الكسوف بالضبط حيث يوجد مراقبون للاستمتاع بها. والذي لم يأخذوه بعين الاعتبار هو أن نفس الظروف اللازمة لحدوث ظواهر الكسوف الشمسي الكلي مهمة أيضاً لوجود المراقبين. ولم يتصوروا إمكانية وجود علاقات مماثلة في مناطق أخرى. إن هذه الحقائق موحية للغاية، حتى وإن كانت لا تحقق ضربة لاهوتية كاستنتاج **منديلو وهارت**. لو توقف الارتباط عند الكسوف، فإننا سنعزوه بالطبع إلى الصدفة. لكن الكسوف مجرد بداية، كما رأينا.

---

(١) في: "Resonances," *Physics Today* 27, no. 2 (1974): 73.

إننا نعيش في كون مع قوانين وشروط أولية مضبوطة لوجود حياة معقدة. على الرغم من أنها محصورة بشكل ضيق، فليس من الحتمي أنها تؤدي إلى هذه الحياة. لأنها ضرورية لكنها ليست كافية تقريباً. في أماكن نادرة للغاية من هذا الكون، الظروف ملائمة لوجود الكائنات التي في وسعها أن تلاحظ السماوات المرصعة النجوم في الأعالي وتتأمل معنى وجودها. في أحد هذه الأماكن على الأقل، وبغض النظر عن الصراع والشدة، اعتقد البعض أن العالم من حولهم كان كوناً منطقيّاً ومنظماً، ويمكن الوصول إليه ليس عن طريق التفكير المنطقي فحسب؛ بل بالتحقيق الدقيق كذلك. وقد أسفرت قرون من الدراسة التي دُعِّمت بالأدوات التكنولوجية والتجديد، قد أدت إلى معرفة لم يسبق لها مثيل بالعالم حولنا. فأدى انضمام هذه الاكتشافات الأولية إلى بعضها إلى معرفة أخرى: وهي أن نفس الظروف النادرة التي حافظت على استمرارية وجودنا، تسمح أيضاً بمجموعة مذهلة من الاكتشافات عن الكون.

هناك قيمة هادفة في هذا. وبسببها فقط يمكننا تحقيق تطلعاتنا للاكتشاف والمعرفة العلمية. فالتحقيق الدقيق، والدراسة، ومراقبة من العالم الطبيعي، تنجح في نهاية المطاف. ومع ما يكفي من المثابرة، يكشف لنا العالم الطبيعي عن نفسه بطرق لا نتوقعها، أوْ لا يمكن أن نتوقعها أحياناً. وبمجرد أن يعي الفكر، فإنه يبدأ في التحرك ببطء وبثبات: **إن هذا الكون، أو أيّاً كان، مصمم لأجل الاكتشاف**. ما هي أفضل وصية يمكن أن توجد من أجل السعي العلمي إلى الحقيقة؟ إن الاكتشاف العلمي يجد متعة في هذه المكانة الكونية المرموقة، وهي مكانة لا يراها إلا الذين فتحت لهم إمكانية أن يدركوا أن الكون موجود لغاية.

الفصل السادس عشر

ردّ الشُّكّاك

إن النتيجة العادلة لا تأتي إلا عن طريق التصريح التام بالحقائق والحجج وموازنتها في كل سؤال مطروح.

ـ تشارلز داروين[1]

حسناً، لكن ماذا عن...؟

لقد قدمنا دليلاً وأشرنا لما يمكن أن يكون في هذه اللحظة من التاريخ تفسيراً مثيراً للجدل لهذا الدليل. وحتى إن لم يكن كذلك، فلن تسلم الحجة التجريبية أبداً من الاعتراضات. لقد اعتمدنا على مجموعة واسعة من التخصصات العلمية فضلاً عن القدر الكبير من الأدلة العلمية المتنوعة. والحجة ليست رياضية أو استنباطية. ولا يمكننا أن نقيم ببساطة مواقع التناقضات. ولكي تكون حجتنا مقنعة، ينبغي إذن أن تكون الأدلة الراجحة في صالحها. ونحن نعتقد أنها كذلك.

ومع ذلك، يمكننا أن نتوقع بعض الاعتراضات الهامة التي لن تكون حجتنا كاملة دون ذكرها. (ولا جرم أن هناك اعتراضات أخرى غير التي سنذكرها هنا). ومع أننا نعتقد أنه ليس في هذه الاعتراضات ما يقوض حجتنا، فهي تساعد على توضيحها، وكذا تطوير تطبيقاتها.

---

(١) Charles Darwin, *The Origin of Species* edited and with an introduction by Gillian Beer (Oxford: Oxford University Press, 1996). 4 (originally published in 1859).

الاعتراض الأول: من المستحيل تكذيب حجتكم.

لأن حجتنا تجريبية ـ أي: أنها مبنية على الملاحظات ـ ونحن لا نتوقع اتفاقاً مثاليّاً بين صلاحية الحياة وقابلية القياس في كل حالة. وفي حقيقة الأمر، إذا نظر المرء في شروط قابلية القياس بشكلٍ مستقلٍّ، فإنه سيكون من السهل الإتيان بأمثلة مضادة ظاهريّاً. ومن المهم أن نؤكد أننا لم نقل إن كل شرط هو الأمثل **بشكل منفرد** لقابلية القياس من على سطح الأرض. إن ما نعلنه هو **أن بيئتنا الصالحة للحياة توفيق استثنائي بين الشروط المتنوعة للقياس، من علم الكونيات وعلم الفلك المجرّي إلى الجيوفيزياء، وأن هذه الشروط نفسها مهمة أيضاً بالنسبة لصلاحية الحياة.** هذا الشكل الذي صيغت به الحجة يستوعب الحقائق التي من شأنها أن تشكل أمثلة مضادة لحجة أقل دقة. لكن بما أن الحجة تجريبية تحديداً ودقيقة، فإن مثالاً مضادّاً واحداً لا يمكن أن يدحضها. ومن هنا ينسل إشكال آخر: كيف يمكن تكذيبها؟

أبانت الأعمال الأخيرة لفلسفة العلم عن مدى قدرة النظريات عالية المستوى على مقاومة دحض بسيط؛ ومع ذلك فمن المؤكد أنه من قوة الاقتراحات العلمية أن تكون قادرة على القول أن الأدلة يمكن أن تعارضها. وفي الواقع، يوجد عدد من الاكتشافات المحتملة التي يمكن ألا تكون في صالح أطروحتنا. ويمكن أن تعارض الأدلة التجريبية أي جزء من أجزاء حجتنا لوجود ترابط ـ أي: صلاحية الحياة أو قابلية القياس. كما أن افتراضاتنا المتعلقة بصلاحية الحياة منفتحة بنفس القدر على التكذيب التجريبي. والطريقة الأكثر حسماً لتكذيب حجتنا بأكملها هي إيجاد بيئة بعيدة مختلفة جدّاً التي توفر ـ مع كونها معادية جدّاً للحياة ـ منصة جيدة للقيام بالاكتشافات العلمية المتنوعة بقدر ما يمكن في بيئتنا المحلية. وسيكون للعكس نفس التأثير ـ إيجاد مكان مأهول وصالح جدّاً للحياة يكون منصة غير مناسبة للمراقبة.

وستكون الاكتشافات التي تعارض أجزاء من حجتنا أقل تأثيراً لكنها تبقى ذات صلة. كما أن معظم هذه الاكتشافات يمكن أن تظهر أيضاً أن شروط صلاحية الحياة المعقدة أوسع بكثير وأكثر تنوعاً مما ندعيه.

فمثلاً، اكتشاف حياة ذكية على كوكب غازي عملاق ذي غلاف جوي كثيف، بالقرب من نجم تنبعث منه الأشعة السينية في مركز المجرة، أو على كوكب دون ليلة مظلمة من شأنه أن يشكل تهديداً خطيراً. أو لنأخذ مثلاً أقل تطرفاً: اقترحنا في الفصل الأول أن الشروط التي تنتج ظواهر الكسوف الشمسي الكلي تساهم أيضاً في صلاحية الحياة لبيئة كوكبية. وهكذا، إذا وجدت كائنات فضائية ذكية، فإنها على الأرجح ستستمتع بظواهر الكسوف الشمسي الجيدة إلى الكاملة. إذا كنا سنجد حياة أصلية معقدة وذكية، على كوكب بدون قمر طبيعي كبير تابع له، فإن ذلك اللوح في حجتنا سينهار.

تفترض حجتنا أنه من المرجح أن كل حياة معقدة في هذا الكون على الأقل، تقوم على الكربون. لذلك فإن إيجاد شكل لحياة لا تقوم على الكربون من شأنه أن يقوض أحد الافتراضات المسبقة. فمن الواضح أن عدداً من الاكتشافات قد يتعارض بشكل مباشر أو غير مباشر مع حجتنا.

وبالمثل، هناك اكتشافات مستقبلية يمكن أن تتجه في صالحها. ويبدو أن أي اكتشاف في علم الأحياء الفلكية يتعلق بحجتنا بطريقة أو أخرى. إذا وجدنا المزيد من الشروط القاطعة المهمة لصلاحية الحياة، فإن هذا يعزز حالتنا. وفي الحقيقة، كانت كتابة الفصل الخامس صعبة لأن كل اكتشاف لكوكب خارج النظام الشمسي كان يبدو أنه يؤثر في حجتنا. خلال ما يقرب الستة والثلاثين شهراً التي قضيناها في الكتابة، ظهرت العديد من المتطلبات الجديدة لصلاحية الحياة (كترابط العزم المغزلي بالعزم المداري وترابط القشرة بالرداء اللذين تمت مناقشتهما في الفصل الخامس). من الممكن أن تكون حجتنا خاطئة، لكن من المؤكد أنها ليست غير قابلة للتفنيد.

الاعتراض الثاني: أيّاً كانت البيئة التي نجد أنفسنا فيها، من المحتم أننا سنجد أمثلة تناسب قابليتها للقياس.

هناك ما ينبغي أن يقال حيال هذا الاعتراض. ولا شك أنه صحيح إذا كنا في بيئة أخرى بشروط مختلفة، فإن أي اكتشافات نقوم بها ستكون مبنية على أساس تلك الشروط. وفي وسع عباقرة العلوم أن يأتوا بطرق ذكية للتحقق

من فرضياتهم مهما كانت البيئة التي يوجدون فيها. ومن المحتم أننا سنبني أي حجة على الشروط التي نعرفها في إطارنا الحقيقي، لا على الشروط التي نجهلها. لذلك قد يبدو مبدئياً أننا ببساطة نتوهم أنه تأثير الانتقاء.

تخيل على سبيل المثال: زوجاً محبّاً اسمه جورج، وزوجته لورا، يمشيان كل صباح بطريقة غريبة جدّاً. فيسيران لمسافة ميل تقريباً على طول الطريق الرئيسي، لكنهما يأخذان دائماً طريقاً مختصرة عبر شارع فرعي وحديقة. ليس لديهما سبب يدعوهما لأن يفترضا أن أي شخص آخر يأخذ نفس الطريق. وفي يوم عيد الحب، يسافر جورج لغرض في عمله، فتقرر لورا أن تدعو جارتها الساخرة إلى حدٍّ ما لتنضم إليها في مشيها المعتاد. ثم تكتشفان في هذا الصباح أنه على مسافة كل مائة قدم، وضعت بطاقات عادية حمراء على الأشجار وأعمدة الهاتف وأعمدة السياج. وبما أن الأمر غير اعتيادي، تدرك لورا في نهاية المطاف أن زوجها البسيط، وضع البطاقات بعد أن عرف مسارها غير الاعتيادي، كإيماءة رومانسية منه.

غير أن جارتها التي كانت تحضر العديد من دروس الفلسفة، متشككة. وعند عودتهما إلى المنزل، تخبر لورا أنهما ربما كانتا ضحيتين تحت تأثير الانتقاء. وبعد كل شيء، فهما لم تفتشا بقية المدينة. وكل ما تعرفانه، أن البطاقات قد تكون موضوعة في كل أرجاء المكان. وحدث أنهما لاحظتا تلك التي تقع على مسار المشي وأنهما كانتا ستجدان النمط نفسه أينما ذهبتا. فتدرك لورا في خيبة أمل أن جارتها يمكن أن تكون على حق. ربما تكون المدينة ممتلئة بأكملها بالبطاقات، وجورج قد نسي حتى الآن عطلة أخرى. ثم لاح لها أن بإمكانها أن تتحقق بسهولة من الحقيقة عن طريق تفتيش بقية الحي. ولما فعلت، شعرت بالارتياح لأنها وجدت أنها كانت على حق طوال الوقت. فلم يكن نمط البطاقات موجوداً على مسارها فقط، لكن بقية الحي كانت خالية كذلك من البطاقات.

لاحظ أنه لما لم يكن في وسع لورا أن تقارن الطريق بالمنطقة التي تجاوره، لم يكن في استطاعتها أن تحدد ما إذا كان زوجها مسؤولاً عن

البطاقات. ورأت أن البطاقات تشكّل نمطاً مناسباً ينم على تصميم محدد جدّاً بسبب التباين بين طريقها والمناطق المجاورة.

نحن هنا في وضعية مماثلة؛ لأننا قادرون على مقارنة قابلية القياس الخاصة ببيئتنا مع قابلية القياس في البيئات الأخرى. فبالنسبة للاكتشافات التي قمنا بها، يمكننا أن نتبين الشروط اللازمة لمثل هذه الاكتشافات، ثم نقارن هذه الشروط مع شروط في الأماكن الأخرى؛ فعلى سبيل المثال: لا شك في أن الغلاف الجوي الشفاف بشكل نسبي أكثر ملاءمة للاستطلاع الفلكي والاكتشاف مقارنة بغلاف ضبابي (نصف شفاف) أو كثيف. ونحن نعلم أن مثل هذا النوع من الغلاف الجوي نادر، على الأقل في نظامنا الشمسي، وأنه يرتبط بغلاف جوي صالح للحياة. يمكننا أن نقارن خصائص غلافنا الجوي مع خصائص الغلافات الجوية الكوكبية الأخرى التي نعلم بشأنها. يمكننا أيضاً نحدس احتمال أن يكون لكوكب معين الخصائص اللازمة لغلاف شفاف صالح للحياة. يمكننا أن نقارن مميزات كوكبنا التي تسمح لنا بأن نحظى بليلة مظلمة مع الكواكب الأخرى التي تتوفر على تشكيلات مختلفة؛ يمكننا أن نقارن خصائص شمسنا بالنجوم المعروفة الأخرى؛ ويمكننا أن نقارن قياس مدارنا بمدارات الأجسام الأخرى التي نعرفها؛ ويمكننا أيضاً أن نقارن مدارنا بغيره من المدارات الممكنة للكواكب والأقمار؛ يمكننا أن نقارن بيئتنا المجرّية المحلية بالبيئات التي توجد في المركز المجرّي أو العنقود الكروي. يمكننا أن نقارن كيفية ترتيب وانتظام نظامنا الشمسي مع الأنظمة الأخرى التي نكتشفها. يمكننا أن نقارن الترسب وغيره من العمليات الأخرى المسؤولة عن تخزين المعلومات على الأرض مع العمليات الخاصة بالأجسام الكوكبية الأخرى. يمكن أن نقارن ظواهر الكسوف الشمسي كما نراها من سطح الأرض بمناظرها من الكواكب الأخرى. نظريّاً، يمكننا مقارنة ظروفنا المحلية في الزمن الكوني بالأزمنة الكونية الأخرى في الماضي والمستقبل. يمكننا أيضاً أن نتخيل أنواع التجارب التي يمكننا إجراؤها في بيئات مختلفة، ونقارن فعاليتها المتوقعة في اكتشاف الظواهر التي كنا قادرين على اكتشافها من

الأرض[1] لذلك فنحن لسنا مقيدين ببساطة بشروطنا المحلية؛ بل يمكننا مقارنة هذه الشروط بغيرها التي يبدو أنها أكثر شيوعاً.

لاحظ أنه يمكننا أيضاً مقارنة موقعنا المحلي بالأماكن المماثلة الأخرى فقط بسبب القدرة العالية على الاكتشاف التي يتيحها موقعنا. لو كنا نعيش في عالم يتميز بغلاف جوي ضبابي، ما كنا لنعلم بشأن الكواكب الأخرى أو النجوم أو المجرات، وبالتالي لن نستطيع مقارنة منزلنا بأي شيء خارج غلافه الجوي. ولن يكون لمراقب يوجد في مثل هذا العالم أي وسيلة لإثبات وجود الارتباط. وكلما استطعنا إيجاد المزيد من هذه المقارنات والمقارنات التي كانت لتكون مستحيلة في البيئات الأخرى، يصبح اعتراض تأثير الانتقاء هذا أكثر ضعفاً.

الاعتراض الثالث: حسناً إذن، إنه فقط نوع مختلف من تأثير الانتقاء. توجد ظواهر لا يمكننا ملاحظتها أو قياسها. والحجة تنحاز للظواهر القابلة للقياس.

وهو قريب من الاعتراض السابق وفيه بعض الصواب كذلك. إذا كنا في بيئة لا يمكننا فيها اكتشاف شيء ما، فإننا قد لا نعرف أبداً أننا لا نستطيع اكتشافه. ومع ذلك ومجدداً، الحجة أقل من أن يُؤْخَذَ بها.

إن العلماء ليسوا محتجزين في إطار كانطي حيث كل شيء ندركه في الكون هو في الأصل نتاج تصورنا، بخلاف ادعاءات المضاد للواقعية الذي يشكك في وجود الحقيقة الخارجية، توجد العديد من الأشياء التي نجد صعوبة في قياسها، ونحن على وعي بهذه الحقيقة. فمثلاً: لا يمكننا تحديد المسافة

(١) وحق للمشككين في حجتنا أن يكونوا في محل ترحيب للقيام بذلك. فكل تقنية رصد ذكية وموثوقة يخترعونها والتي لا تعمل إلا في بيئة تبدو ملائمة للحياة يمكن أن توهن مصداقية حجتنا. ولا يمكن لمثل هذه الفكرة أن تدمر حجتنا؛ لأن الأمر سيتطلب الكثير من هذه الأفكار ليبين أن الأرض كانت أقل من الحد الأمثل على مجال من حالات الرصد مقارنة ببعض الأماكن غير الصالحة للحياة. ومع ذلك فإن هذا العدد الكبير من الأفكار الموثوقة ممكن، مثال آخر عن كيف يكون الارتباط قابلاً للتنفيذ.

التي تبعد بها بعض الأجسام الفلكية أو تحديد خصائصها. لكننا نعلم بوجودها؛ لأننا نستطيع الكشف عنها إما بشكل مباشر أو غير مباشر، وندري أننا نجهل مسافاتها أو العديد من خصائصها الجوهرية. ويمكننا أن نقارن أجسام هذه الفئة بالأجسام التي نستطيع كشفها وقياسها، ونخلص إلى تعميمات بخصوص قدرتنا على القياس بشكل عام.

وبالمثل، نحن لا نفتقر إلى الخيال إلى درجة أننا لا نستطيع أن نتصور إلا تلك الأشياء التي ندركها بالحواس مباشرة. إذا كانت الطبيعة تعمل بشكل نظامي، ولدينا ما يكفي من الأسباب لنعتقد أنها كذلك، فإننا نملك مبرراً لنقدر استقرائيّاً ما لا نعرفه استناداً إلى ما نعرفه. غالباً ما تتنبأ النظرية بوجود بعض الأجسام قبل اكتشافها، مثل الكواكب المضافة، القزمة البيضاء، الثقوب السوداء، إشعاع الخلفية الكونية، والنيوترونات. بالنسبة للنظريات المضمونة إلى حدٍّ ما، يمكننا أن نتخيل الشروط التي يمكن أن تتيح لنا الكشف عن مثل هذه الأجسام. وبالتالي يمكننا أن نحدد ما إذا كانت بيئتنا تسمح لنا بذلك وبمقارنتها مع غيرها من الأماكن في الكون. وقد حصل هذا عدة مرات في السابق. إن عدد المرات التي يستطيع فيها الفيزيائيون إيجاد طريقة للكشف عن الكيانات التي تم التنبؤ بها مبدئيّاً لأسباب نظرية مثيرة للدهشة.

الاعتراض الرابع: أنتم انتقائيون. وقد استعملتم مثالاً متحيزاً للقول بالارتباط.

وهذا خطر يلازم دائماً كل فرضية عامة كالتي نقترحها. عندما يكون النظري بصدد البحث عن أكبر قدر من البيانات، سيكون من الممكن دائماً أن ينتقي القطع التي تشكل نمطاً ويتجاهل غيرها. وبالتالي، عندما تؤخذ البيانات بتمامها، ينكشف النمط. إن أي حجة تتقاطع فيها تخصصات علمية مختلفة تكون معرضة بشكل خاص لمثل هذا الخطر؛ لأنه يستحيل اعتبار كل جزء من البيانات ذات الصلة بالموضوع.

ولهذا السبب، انتقينا بشكل مقصود أمثلة مهمة من التخصصات العلمية التي أخذنا في الاعتبار. ولم نختر التجارب المبهمة أو شروط القياس التي

تقل أهميتها بالنسبة للعلم؛ فمثلاً: من الصعب أن نبالغ في تقدير أهمية غلاف جوي شفاف أو نجوم مرئية بالنسبة لعلم الفلك، أو العمليات الرسوبية بالنسبة للجيولوجيا. إن أي عالم من علماء الفيزياء الفلكية يقر بالأهمية التاريخية التي تمتاز بها ظواهر الكسوف الشمسي الكلي في تطوير الفيزياء النجمية. ولا يستطيع أي عالم فلكي أن ينكر أهمية الكشف عن الانزياح الأحمر للمجرات البعيدة، أو إشعاع الخلفية الكونية في معرفتنا لتاريخ الكون. وبالإضافة لذلك، وكما أشرنا في الفصل السابق، لاحظ علماء آخرون الدليل على الارتباط، ومع ذلك لم يطور أحد منهم الحجة كما فعلنا. وهذا يبيِّن أنه من غير المحتمل أننا اختلقنا الحجة من العدم.

ومع ذلك فإن هذا اعتراض مهم؛ لأنه سيكون طريقة لتفنيد الادعاء القائل بوجود صلة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس. إذا كانت فرضيتنا صحيحة، فإن الارتباط سيظل مؤكداً ليس في المناطق التي اعتبرناها فحسب بل حتى في المناطق التي لم ندرجها في الاعتبار. إننا مقتنعون بأنه لا يزال هناك العديد من الاكتشافات الهامة التي تنتظرنا ـ منها ما يمكننا أن نتنبأه، ومنها ما لا يمكننا تنبؤه. وفي خطر أن نكون على خطأ، سنكون على استعداد أن نتنبأ أنه سيتبين يوماً ما أن مجموعة فرعية محددة من انفجارات أشعة غاما شموع قياسية مفيدة[١] والسبب الوحيد الذي نملك للتنبؤ بهذا هو أنه إذا كان الارتباط صحيحاً، فإن انفجارات أشعة غاما ستكون المرشح الرئيسي في مساعدتنا لقياس الكون. وربما تُمكّن علماء الفلك المستقبليين من سَبْر المزيد من الانزياحات إلى الأحمر أكثر بشكل أكبر مما نستطيع بفضل مستعرات Ia اليوم.

وهناك تنبؤ آخر من هذا القبيل وهو يتعلق بالدليل على الحياة المبكرة.

---

(١) توخياً لكشف كامل، نشير إلى أننا قمنا بهذا التنبؤ بعد وقت وجيز من الشروع في حَبْر هذا الكتاب في شباط/فبراير أو آذار/مارس سنة ٢٠٠١م. سبق أن ظهرت في الصحف بعض المناقشات حول إمكانية استخدام انفجارات أشعة غاما كشموع قياسية. وحتى عام ٢٠٠٣م، لا يزال علماء الفلك يناقشون هذه المسألة.

فكما ذكرنا في الفصل الثالث، أدت العمليات الجيوفيزيائية للأرض إلى محو جزء كبير من التاريخ القديم للحياة. إذا كانت قابلية للقياس وقابلية الاكتشاف على النحو الأمثل من زاوية مراقبتنا، فإننا قد نتوقع مع ذلك، أن هذه المعلومات ستُحفظ في مكان نستطيع الوصول إليه. إن أصل الحياة مسألة ذات أهمية خاصة. وسيكون من المستغرب، على فرض الارتباط، ألا يكون من الممكن التحقيق فيها. في الواقع، يمكننا أن نتوقع أن مثل هذه الأدلة متوفرة في مكان ما، إذا بحثنا بجد بما فيه الكفاية. كان هذا التنبؤ بالضبط هو الذي قاد أحدنا (غييرمو) للنظر في قيمة استكشاف القمر للكشف عن الآثار المحفوظة بشكل جيد نسبيّاً للحياة الأرضية من تلك الفترة المبكرة[1] وأخيراً، نحن على استعداد أن نتنبأ أنه بما أن الكربون والأوكسجين يظهران في كثير من الأحيان بين أمثلتنا على قابلية القياس، فإنهما سيكونان عنصرين مركزيين في الاكتشافات المستقبلية كذلك.

وبالطبع إذا كنا على حق بشأن هذه التنبؤات، فهذا لن يثبت موقفنا إنما سيزيد من دعمه فقط. وعكسيّاً، إذا كنا على خطأ، فإنه لن يدمر حجتنا لكنه سيحدث بها نُقْرَة. لكن من الواضح أن لحجتنا بعداً تنبؤيّاً. وفي المقابل، يبدو أن المبدأ الكوبرنيكي والأنثروبيّ في تعبيرهما المطلق، أقل فائدة بكثير. فافتراض وجود أكوان متعددة مثلاً، لا يقدم العديد من البرامج البحثية المثمرة داخل كوننا. ويبدو مصمماً أساساً لمنع بعض الاحتمالات الميتافيزيقية غير المرغوب فيها.

الاعتراض الخامس: إن حجتكم حدسية جدّاً، وتنبني على تخمينات وقاعدة تجريبية هشة.

تستند معظم الأمثلة التي قمنا باختيارها إلى ظواهر مفهومة فهماً جيداً،

---

(١) انظر: J. Armstrong, L. Wells, and G. Gonzalez, "Rummaging Through Earth's Attic for Remains of Ancient Life," *Icarus* 160 (2002), 183-196.

انظر أيضاً: جزء Views and News على الدراسة: C. R. Chapman, "Earth's Lunar Attic," *Nature* 419 (2002), 792-794.

وتقوم على أساس أدلة تجريبية مكثفة. تتضمن الأمثلة خصائص غلافنا الجوي، عمليات الترسب، العمليات التكتونية، خصائص الكواكب في النظام الشمسي، الأطياف النجمية، البنية النجمية ومكاننا في مجرة درب التبانة. تقوم بعض الأمثلة الأخرى التي أوردناها على قاعدة تجريبية ضعيفة بسبب التغير السريع والمعرفة المكتسبة حديثاً في بعض المجالات. وتشتمل هذه المعرفة على الكواكب خارج النظام الشمسي، ومتطلبات إضافية لصلاحية الحياة، ومجموعة من الأفكار في مجال علم الكونيات. لكن حتى في هذه الأمثلة، تقوم حججنا على أساس نظري منطقي.

وحينما تكون مناقشاتنا حدسية، فإننا نعينها بوصفها كذلك. وبالتالي فحديثنا عن النطاق حول النجمي الصالح للحياة، وجميع العوامل التي تدخل في تحديدها، تحتوي على عناصر حدسية، كما هو الحال في حديثنا عن النطاق المجري الصالح للحياة، في حين أننا لا نستطيع أن نقدر حتى الآن الحدود المضبوطة لهذه المناطق الصالحة للحياة، من المؤكد تقريباً أن الدراسات المنشورة حالياً ما زالت تفتقر إلى العديد من العوامل ذات الصلة، التي ستقلل من حجمها وتثبت حجتنا إذا تم اعتبارها في نهاية المطاف.

لاحظ مجدداً، أننا نسير على حافة هنا، ونقوم بالتنبؤات التي تجعل حجتنا ضعيفة أمام الاكتشافات المستقبلية.

الاعتراض السادس: إن حجتكم غير موضوعية، فهي تفتقر إلى الدقة الكمية الضرورية لبناء قضية مقنعة.

ويرتبط هذا بالاعتراض السابق. صحيح أننا لم نحاول التعبير كمياً عن الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس. نحن أول من يأتي بهذه الحجة؛ وليس هدفنا تقديم تحليل دقيق من الناحية الرياضية. وفي جميع الأحوال، ليس من الضروري أن نحدد كمياً صلاحية الحياة وقابلية القياس لبناء الحجة.

فمن السهل مثلاً، أن نرى سطح الأرض أكثر صلاحية للحياة من الكواكب الأخرى في النظام الشمسي. كما يقر جميع علماء الأحياء الفلكيين دون استعمال «مؤشر لصلاحية الحياة»، جادلنا بالمثل، دون الاستعانة بـ«مؤشر

لقابلية القياس»، أن الأرض تتيح فرصة أكبر للقياس والاكتشاف العلمي من الكواكب الأخرى.

لكن اللا موضوعية توحي كذلك بالاعتباطية. فمثلاً: يمكن أن يدعي متشكِّك أننا رجحنا بشكل اعتباطي قيم نوع الملاحظات التي يمكن إجراؤها فقط من موقعنا، مع التقليل من أهمية تكاليف الفرص البديلة لهذا الموقع. لكن أي اتهام من هذا القبيل ينبغي أن يواجه أمثلتنا الخاصة، إننا نجادل على سبيل المثال، أن تعذر الوصول المباشر إلى الثقب الأسود العملاق في نواة مجرتنا، ثمنٌ قليل لندفعه مقابل قدرتنا على اكتشاف إشعاع الخلفية الكونية وقياسه. هل هذا اعتباطي؟ من الواضح أنه ليس كذلك. إننا نمنح أهمية كبرى لإشعاع الخلفية لأنه ـ بخلاف الثقب الأسود النووي ـ **أولاً**: فريد من نوعه، **ثانياً**: يمدنا بمعلومات مباشرة إلى حدٍّ ما عن الخصائص العامة للكون، **وثالثاً**: يتيح لنا لمحة عن أصل الكون.

وطبعاً هذا لا يعني أنه من المستحيل إجراء تحليل كمي دقيق لحجتنا؛ بل يمكن أن يكون مشروعاً بحثيّاً مهمّاً جدّاً.

الاعتراض السابع: كيف يمكن أن يكون هناك ارتباط بحجم عينة (sample size) يقدّر بواحد؟

صحيح أن الأرض هي المثال الوحيد الذي لدينا على كوكب صالح للحياة، لكن هذا لا يمنعنا من إيجاد علاقة بين صلاحية الحياة وقابلية القياس، أولاً، حجتنا ليست مبنية فقط على التفاصيل الخاصة لكوكبنا والحياة التي نعرفها. لقد ناقشنا أنه من المرجح أن الحياة في الكون ستكون شبيهة بالحياة على الأرض، على المستوى الكيميائي الحيوي على الأقل. كما أنه من المرجح أن الحياة التكنولوجية تتطلب كوكباً شبيهاً بكوكبنا. بدءاً من هذه الأساسيات، استخدمنا المعرفة المكتسبة في مجموعة واسعة من التخصصات لكي نسع مجالاً واسعاً من البيئات. وبالتالي فاكتشاف ترابط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس مبني على معرفتنا لا على جهلنا.

على سبيل المثال: بفضل المعرفة المكتسبة من الفيزياء الفلكية النجمية

وعلم المناخ، يمكن أن نتساءل عما إذا كوكب حول قزم ـ M أكثر أو أقل صلاحية للحياة ويتيح فرصة أقل أو أكثر للاكتشاف مقارنة بالأرض. كذلك، فبفضل معرفتنا بعلم الفلك المجرّي، يمكن أن نتساءل كيف يؤثر الموقع في درب التبانة على صلاحية الحياة وقابلية القياس للكون المحلي والبعيد.

الاعتراض الثامن: بما أن الحياة تحتاج إلى التعقيد، فإن الارتباط غير مهم. كلما زاد التعقيد، زاد احتمال وجود الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس.

تنص إحدى دعاوانا على أن شروط صلاحية الحياة غير محتملة للغاية، وبهذا المعنى، معقدة. وبالتالي قد يبدو أنه كلما زاد تعقيد بيئة معينة، كلما زادت صلاحيتها للحياة وقابليتها للقياس؛ يعني: أن الحياة المعقدة تتطلب شروطاً معقدة، بما فيها المتغيرات الجيولوجية، الكوكبية والنجمية المختلفة. في مثل هذه الحالة، يبدو من المحتمل أنه سيكون هناك المزيد من الشروط المتاحة لقابلية القياس. ونتيجة لذلك، ستتعلق قابلية القياس بصلاحية الحياة بنفس الطريقة التي يتعلق بها السكان بصلاحية الحياة. ربما كلما ترقى إليه حجتنا هي الملاحظة التي ترى أن بيئتنا معقدة. وهذا التعقيد بالضبط يستوجب أن تكون البيئة صالحة للحياة وقابلة للقياس.

من المؤكد أن في هذا الاعتراض شيئاً من الصواب؛ لأن كلّاً من الحياة المعقدة والاكتشافات العلمية واسعة النطاق تتطلب بيئة **متنوعة**. لكن عند التحقيق عن كثب، نجد أن التعقيد لا يتعلق بصلاحية الحياة ولا بقابلية القياس. إذا أخذنا غلافاً جويّاً كثيفاً وفوضويّاً كالذي يتميز به كوكب المشتري على سبيل المثال، ليس من الواضح أن يكون أقل تعقيداً من الغلاف الجوي للأرض، لكنه أقل صلاحية للحياة. وبالمثل، ليس من الواضح أن نظاماً كوكبيّاً مستقرّاً مع تسعة كواكب رئيسية في مدارات دائرية تقريباً أكثر تعقيداً من نظام غير صالح للحياة مع مجموعة من الكواكب المتنوعة والشاذة في مدارات انحرافية مختلفة. من المؤكد أن كوكباً عملاقاً غازيّاً مع أقمار متعددة بمختلف الأحجام والمبرمترات المدارية أكثر تعقيداً من الأرض مع قمرها الكبير الأوحد.

إن حدوث كسوف شمسي كامل لا يتطلب درجة عالية من التعقيد مقارنة بأنظمة الأقمار الأخرى الممكنة. وإن مداراً مجريّاً دائريّاً كمدارنا أقل تعقيداً من مدار إهليلجي للغاية يعبر عدة مناطق مجرية مختلفة ويتأثر بفعل قوى الجاذبية الخاصة بالأجسام الضخمة القريبة. كما أن نظام نجم ثنائي أو ثلاثي أكثر تعقيداً من نجم أحادي كالشمس. إن الفوضى الناجمة عن مجرتين من النوع الشاذ أكثر تعقيداً من مجرة درب التبانة الحلزونية على نحو نظامي. وفي الحالات المتعددة التي يمكننا استحضارها، فإن الشرط الأقل تعقيداً ليس أكثر صلاحية للحياة فحسب؛ بل أكثر قابلية للقياس كذلك.

والفرق بين الشروط التي تتمتع بها الأرض وظروف الكواكب الأخرى الأكثر انتشاراً، ليس أن الأولى أكثر تعقيداً من عدة وجوه، أو حتى أنها أكثر صلاحية الحياة. إن حالتنا معقدة بالتأكيد، لكنها أيضاً **تعرض تخصيصاً، نمطاً مدهشاً** حيث ترتبط الشروط النادرة لصلاحية الحياة وقابلية القياس. (ونستحضر أن هذا النمط هو الذي تتأسس عليه حجتنا). ومع ذلك فإن هذه الملاحظة لن تكون ذا فائدة كبيرة بالنسبة للناقد؛ لأن هذه هي **حجتنا**.

الاعتراض التاسع: قد توجد مسارات منفصلة ومختلفة عن مسارنا وتؤدي إلى بيئات صالحة للحياة بنفس الدرجة.

كان لهذه الحجة أن تكون أكثر قوة قبل ثلاثين عاماً، لكن الاكتشافات تقف ضدها منذ ذلك الحين؛ فالمعرفة المفصلة للكواكب الأخرى في نظامنا الشمسي، والفهم النظري للمناطق الصالحة للحياة، واكتشاف الأمثلة المتعددة على الضبط الدقيق في الفيزياء والفيزياء الفلكية، كلها تجعل فكرة أن بيئة مختلفة جدّاً عن بيئتنا يمكن أن تكون صالحة للحياة بنفس القدر، غير محتملة. تشير مجموعة الأدلة التي ناقشناها إلى أن بيئتنا قد تكون قريبة من الحد الأمثل. تبين الاكتشافات الحديثة عن الإكستريموفيل أنه حتى الأماكن الأكثر شبهاً بالأرض في النظام الشمسي معادية جدّاً لوجود حياة بسيطة.

لا يمكننا أن نعتبر حشرة شديدة التحمل في معزل عن منزلها الأرضي؛

بل يجب أن نعتبرها كجزء من نظام (نستحضر نظرية غايا) حتى لو تبين أن الكواكب التي تكتنف حياة بسيطة ليست نادرة، فإن التقييدات المفروضة على الحياة التكنولوجية والمعقدة أعلى بكثير. لا يمكننا أن نستبعد إمكانية وجود موائل مختلفة اختلافاً كبيراً في مكان آخر، ولكن يجب على شخص ما أن يقدم مثالاً واقعيّاً ليخرج هذا من دائرة التوكيدات التي لا أساس لها.

والأقل احتمالاً من ذلك إمكانية أن تنبني الحياة على شيء آخر غير الماء والكربون. فقد استمرت الاكتشافات العلمية في تعزيز الخصائص الفريدة للماء الضرورية للحياة، وهي فكرة اتخذها ويليام وويل لأول مرة كحجة تصميم قبل أكثر من ١٥٠ عاماً. ومع ذلك فإنه من الجيد أخذ هذا الاعتراض في الاعتبار؛ لأن إيجاد شكل حياة مختلف تماماً عن الحياة القائمة على الماء والكربون التي نعرفها يمكن أن يعرض حجتنا للشبهة.

الاعتراض العاشر: إن حجتكم سيئة بالنسبة للعلم لأنها تشجع على التشكيك في علم الكونيات.

يدعي علماء الكونيات غالباً أنه يجب علينا أن نفترض أن موقعنا ليس مميزاً لأسباب نظرية؛ لأنه يسمح لنا أن نقيس الأجزاء التي لا نراها من الكون على الجزء الذي نراه منه، إذا كان هذا صحيحاً، فإن حجتنا ضد المبدأ الكوبرنيكي قد تجعلنا نشك في قدرتنا على معرفة أي شيء بخصوص الكون ككل. لننظر في سؤال مارتن ريس المذكور في الفصل العاشر، لماذا يتوفر كوننا على الانتظام الكامل الذي يجعل علم الكونيات علماً قابلاً للطرق، بينما يسمح كذلك بتشكل المجرات، والعناقيد، والعناقيد الهائلة؟ حينما يقول ريس: «إن علم الكونيات لين العريكة»، فهو يعني: أنه يحقق مجموعة الافتراضات التالية:

١ ـ الفضاء متجانس.

٢ ـ الفضاء متماثل (يبدو متماثلاً من كل نقطة، أو بتعبير آخر، ليس هناك نقطة مميزة أو اتجاه متميز).

٣ ـ قوانين الفيزياء هي نفسها في كل مكان[١]

لاحظ كيف يخلط تعريفه **المبدأ الكوني** القديم بالمبدأ الكوبرنيكي. كما رأينا، تطلب الأول «مؤهلات» متواصلة مع تقدم معرفتنا للكون. فمن الواضح أن الكون ليس متجانساً بمقياس البشر والكواكب والنجوم والمجرات أو العناقيد المجرّية. والآن يُفترض أن الفضاء متجانس فوق مستوى العناقيد المجرّية الهائلة ـ بمعنى: عناقيد العناقيد المجرّية. وفي الواقع، تشير الأدلة الحديثة أن مثل هذه العناقيد الهائلة مرتبة وفق نمط من الفراغات والفتائل، تشبه نوعاً ما الفقاعات الكبيرة في سائر أنحاء الكون[٢]

يتعارض الافتراض الثاني، على الأقل في صياغته المعتادة، مع الأدلة التي نوقشت في هذا الكتاب. ومن الواضح أنه ينبغي إعادة صياغته. تعتمد الكيفية التي يظهر بها الكون بشكل وثيق على موقع المرء في كل من المكان والزمان. وفي الواقع، كان يطلق على التمثل الأكثر مبالغة للمبدأ الكوني باسم المبدأ الكوني المثالي، الذي ينص على أن أي زمن في الكون يشبه أي زمن آخر. ألهم المبدأ الكوني المثالي النماذج المتعددة للحالة الثابتة، ولقي المصير نفسه.

---

(١) في: The Cosmological Background Radiation, 7، يذكر لاشيز ـ ري (M. Lachieze-Rey) وغونزيغ (E. Gunzig) أربعة افتراضات من هذا القبيل:

- ينطبق التجانس على الفضاء. ومن ثم يُفترض أن نقط الفضاء جميعها متكافئة وأن الخصائص المرتبطة بكل نقطة هي نفسها؛ أي: أن قوانين الفيزياء هي نفسها في كل مكان. ويمتد هذا التجانس إلى مقاييس مكانية أكبر من مقاييس المجرات، وعناقيد المجرات وحتى العناقيد الفائقة؛ أي: أكثر من بضع مئات ميغابارسك.
- ينطبق التناحي على الفضاء. وهذا يعني: أنه لا يوجد اتجاه متميز في الفضاء. (وهو يتعلق أيضاً بمقاييس كبيرة). يشكل هذان الافتراضان ما يسمى بالمبدأ الكوني.
- أن المادة في الكون يمكن وصفها ببساطة من خلال ما يسمى بالمائع المثالي. في هذه الحالة تعطى خصائصه كليّاً بدلالة كثافتها ٧ وضغطها p.
- أن قوانين الفيزياء هي نفسها في كل مكان.

لاحظ أنهم يكررون افتراض قوانين الفيزياء في النقطة الأولى والرابعة. لكن من الواضح أن تجانس الفضاء قضية منفصلة عن انتظام وشمولية قوانين الفيزياء.

(٢) انظر: S. Nadis, "Size Matters," *Astronomy* 30 (March 2002): 28-32.

ولعل الافتراض الأخير ـ أن قوانين الفيزياء تنطبق على سائر أنحاء الكون ـ هو الأكثر أهمية، وهو الإرث الحقيقي للثورة الكوبرنيكية. وله دعم رَصَدي متين. فمثلاً، يحقق الرصد الطيفي للمجرات البعيدة على نطاق واسع من أطوال الموجات أن لذراتها نفس خصائص الذرات التي تقاس في مختبرات الأرض. وعلى أساس مثل هذه الملاحظات، يجد الفلكيون وعلماء الكونيات مبرراً لاستقراء القوانين الفيزيائية من مختبراتهم الصغيرة إلى الكون كله.

هل تعني حجتنا أنه لم يعد بإمكاننا إجراء تعميمات على الكون من الأجزاء التي نلاحظها؟ هل تنتج شكوكية متطرفة حول قدرتنا على معرفة الكون ككل؟ هل تتطلب أن نقتصر على علم الفلك الرصَدي ونبتعد عن علم الكونيات؟ بالطبع لا في الواقع، هناك حاجة لافتراض سطحي مماثل، لكن يكون معاكساً ـ بمعنى: أن ما نراه جيداً، وعينة وتمثيلاً دقيقاً للكون ككل. وربما يمكننا أن نطلق على هذا مبدأ الاكتشاف (Discovery Principle). ووفقاً لهذا المبدأ، وبما أن الأوجه المتعددة لحالتنا أثبتت أنها تستفيد من قابلية القياس، يمكننا أن نتوقع بشكل منطقي أن نجد مثلها من الحالات التي تتيح لنا التوصل إلى المعلومات التي تكشف القوانين الكونية للفيزياء، وكذا تنوع البينيات الصغيرة والكبيرة في الكون.

وفي الحقيقة، ربما تكون الطريقة الأكثر صواباً لوضع الافتراضين (١) و(٢) أعلاه في شكل مبدأ الاكتشاف: **ينبغي أن نكون متفائلين أن أجزاء الكون التي لا يمكننا رؤيتها مماثلة تماثلاً وثيقاً لأجزائه التي نستطيع رؤيتها (من نقطة مراقبتنا المتميزة)**. والذي نعنيه بعبارة: «مماثلة تماثلاً وثيقاً»: أن الأجزاء التي لا يمكننا رؤيتها لا تشتمل على أجسام أو قوانين مختلفة جوهريّاً عن تلك التي نستطيع رؤيتها.

والأكثر من ذلك أن مبدأ الاكتشاف يقترح مبدأ كونيّاً مؤهلاً بشكل صحيح. لطالما كان المبدأ الكوني محط اهتمام علماء الكونيات لأنه يسمح بحلول «بسيطة» لمعادلات آينشتاين (على الرغم من أن غير المطلعين على نظرية المُوَتِّر قد لا يجدون الحلول بهذه البساطة). هذا هو السبب الذي جعل

علم الكونيات الرياضي مسعًى جاداً. إن الكون الذي نراه يوافق التعبير الشامل لمعادلات النسبية العامة. هل كان يمكن للكون أن يكون على خلاف هذه الصورة؟ هل كان يمكن لكون أقل تجانساً أن يكون صالحاً للحياة بنفس القدر؟ حتى الآن لا نعلم يقيناً[1] وفي جميع الأحوال فإن المبدأ الكوني (المعرف تعريفاً صحيحاً) لم يتولد من المبدأ الكوبرنيكي، ويمكن أن يقوم بنفسه دون الحاجة إليه. وبصرف النظر عن تبيين ضآلتنا فإنه يبدو شرطاً سابقاً لكون مصمم لأجل الاكتشاف بالنسبة لمخلوقات مثلنا، قاصرة على موقع صغير واحد.

من الواضح أن شيئاً ما مثل مبدأ الاكتشاف أمر ضروري إذا كنا نسعى للحصول على المزيد من الأدلة حول الكون ككل. إن الاكتشافات في الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات لا تأتي بلا ثمن، والاستثمارات المستقبلية في مثل هذه البحوث قد تبدو مسرفة دون التفاؤل المعقول الذي تدعمه فرضيتنا. وبالنسبة للعلماء الذين تخلوا عن المبدأ الكوبرنيكي، قد يبدو من السخرية أنه لكي يتم تبرير الاستنتاجات حول الكون بشكل عام يجب أن تكون لدينا رؤية جيدة ومتميزة، لا متوسطة أو عادية. فمثلاً، ربما توجد المادة الكوكبية في الكون في شكل الكواكب العملاقة الغازية أكثر مما توجد في كواكب شبيهة بكوكبنا، إن الموئل العادي في أعماق الغلاف الجوي لعملاق غازي سيتركنا جاهلين تماماً بشأن الكون الشاسع، بسبب كثافة غلافه الجوي. ويمكننا أن نفترض بسهولة أن مثل هذا الغلاف الكثيف ممتد ببساطة إلى الأبد.

وبالمثل، من المرجح أن الأقمار حول مثل هذه الكواكب أكثر شيوعاً من الأقمار حول الكواكب الأرضية ككوكبنا. وكما جادلنا في الفصل الخامس، من المستبعد جدّاً أن توفر هذه الكواكب منصة قياس ذات جودة عالية كالتي يتمتع بها أبناء الأرض. من المؤكد أنه لا توجد ضرورة لوجود

---

(١) يشير عالم الكونيات بيبلز (P. J. E. Peebles) إلى أن نظرية التضخم تنتهك مبدأ آينشتاين الكوني، لكن حدود الكون التي نستطيع رؤيتها بعيدة عن النطاقات الفوضوية الواسعة.
Principles of Physical Cosmology (Princeton: Princeton University Press, 1993), 15.

العادية. إنما الضروري هو وجود موقع متميز وربما نادر جدّاً لكوكب يشبه الأرض. ولسنا حتى في حاجة أن نفترض أننا نتمتع بمثل هذا الموقع. هذا ما تشير إليه الأدلة، على الأقل داخل المنطقة التي نعرفها. في المقابل، ومن شأن مبدأ كوبرنيكي معمم أن يهدم مبرراتنا لممارسة علم الكونيات(١)

وبالإضافة إلى ذلك، لاحظ أن مبدأ الاكتشاف يضعف تبرير افتراض مناطق غير قابلة للملاحظة أو مجالات بقوانين وخاصيات مختلفة تماماً عن الكون المرصود. وبعبارة أخرى: فعلم الكونيات ـ الذي يهتم بدراسة الكون ككل ـ مشروع فعال إذا كنا محقين في افتراض أن الكون المرصود الذي نستطيع الوصول إليه نموذج تمثيلي. وبالتالي فإن لعلماء الكونيات دافع قوي لتفادي فرضيات العوالم المتعددة التي تفترض «أكواناً» مختلفة تماماً عن الكون الذي نسكنه.

بالطبع هذا لا يعني أننا سنعرف كل حقيقة عن الكون. لقد بلغنا لحظة في تاريخ الاستكشاف العلمي حيث يمكن للمرء أن يسأل بعقلانية ما إذا كنا قد وصلنا تقريباً حدود معرفة الكون. ربما يكون محظوراً علينا النظر خلف «ستار» إشعاع الخلفية الكونية. وبعد كل شيء، كيف يمكن أن نرى ما بعد الفترة التي حدث فيها التصوُّع بين المادّة والإشعاع؟

---

(١) يضع جون بارو تعليقاً ذا صلة في كتابه:

Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits (Oxford: Oxford University Press, 1998), 169-70:

قبل اكتشاف إمكانية التضخم، كان يفترض عموماً أن الكون يجب أن يبدو بنفس الشكل خارج أفقنا كما يبدو داخله. وأن نفترض خلاف ذلك يعني: أن نفترض أننا اتخذنا مكاناً خاصّاً في الكون ـ إغراء علمنا كوبرنيك مقاومته. . . يبين الطابع العام للأكوان التضخمية أنه يجب علينا أن نتوقع أن يكون الكون منظماً بشكل مدهش في الفضاء والزمان كثر بكثير مما كنا نتوقع من قبل.

يبدو أن بارو يشير إلى أن النماذج التضخمية الفوضوية تناقض المبدأ الكوبرنيكي. والواقع أن هذه النظريات، التي تفترض أكواناً متعددة تختلف من حيث ثوابتها وشروطها الأولية، تبدو لنا مثالاً على المرونة الملحوظة ـ والطابع الميتافيزيقي أساساً ـ للمبدأ الكوبرنيكي. قيل لنا سابقاً: إن المبدأ الكوبرنيكي يتطلب منا أن نفترض انتظام القوانين والثوابت في جميع أنحاء الكون. وعندما أدى هذا الافتراض إلى كون يبدو مضبوطاً بدقة على نحو مثير للقلق من أجل وجود حياة معقدة، تطلب منا فجأة أن نضع كوناً متعدداً بخصائص متفاوتة بين الأكوان الفردية.

إن الحدود المفروضة على رؤيتنا بفعل إشعاع الخلفية هي نوع ما كالرؤية التي يحظى بها مراقب يوجد على سطح كوكب مع غلاف جوي نصف شفاف كثيف؛ حيث يقابل نصف الكوكب نجمه المضيف باستمرار. وسيبدو السطح السحابي على الجانب المشمس للكوكب مشرقاً على نسق واحد، وبسبب هذا الضوء الذي يغشى رؤية المراقب، لا يمكن لهذا الأخير أن يعرف شيئاً عن الكون البعيد، أو أي شيء وراء السّحب المشرقة. ولحسن الحظ، على فرض أن مراقبنا الغريب يمتلك درجة متقدمة في الفيزياء، سيكون بإمكانه الحصول على طيف الضوء المتسرب عبر السّحب وربما يستنتج شيئاً عن مصدره. وبالمثل، يخبرنا طيف القدرة الزاوي، لإشعاع الخلفية شيئاً عن الأحداث التي طرأت مباشرة قبل تشكله، حتى وإن كان يبدو أنه يفرض حدّاً على ما يمكننا معرفته.

ومع ذلك، مجدداً، توفر بنيات الكون وقوانينه المزيد من الأدوات التي قد يصبح العلماء في المستقبل قادرين على استغلالها لتحقيق النظر في الماضي الأبعد. وقد يكون في وسعهم يوماً ما تخطيط النيوترينو أو خلفية موجة الجاذبية ويكتسبون بعد المعرفة حول ما حدث قبل فترة قصيرة من الانزياح إلى الأحمر يقدر بألف في أقل من ٣٠٠,٠٠٠ سنة بعد الانفجار العظيم، كلمح البصر في الزمن الكوني. وإن كنا لا نعرف كل حقيقة عن الكون، فإننا قد عرفنا أكثر مما يمكن أن نتوقعه أبداً، ولا شك أنه ما يزال بإمكاننا أن نعرف المزيد.

الاعتراض الحادي عشر: تبدو النسبية العامة قانوناً طبيعيّاً غير ضروري، ومن الواضح أنه ليس لازماً لصلاحية الحياة. ومع ذلك فهي جزء مهم من العلم. ألا يتعارض هذا مع الارتباط؟

جادل **جورج إليس** أن السمات الرئيسية للكون يمكن أن تتحدد بفضل النظرية النيوتنية وحدها[1] بعبارة أخرى، من الممكن أن الحياة لا تتطلب

(١) "The Anthropic Principle: Laws and Environments," in *The Anthropic Principle: Proceedings of the Second Venice Conference on Cosmology and Philosophy*, F. Bertola and U. Curi, eds. (Cambridge: Cambridge University Press), 29.

كوناً حيث تتضمن قوانين الطبيعة النسبية العامة (GR). وبالتأكيد، لا نعرف إذا كان هذا صحيحاً. صحيح أن النسبية العامة تبدو بعيدة كل البعد عن شؤوننا اليومية، ولكنها تؤثر على إنتاج العناصر، اندماج النجوم النيوترونية والثقوب السوداء، والبيئة القريبة حول الثقوب السوداء العملاقة في نوى المجرات. هناك حاجة إلى مزيد من البحث لفحص الصلات بين هذه العمليات والحياة. وبما أن الحياة تتأثر بمعدل تبريد كوننا، فمن الممكن أن يفشل الكون لنيوتن في تحقيق هذا الشرط.

إذا افترضنا أن اقتراح **إليس** صحيح، فماذا يعني ذلك؟ يعني: أنه من الواضح أن هناك قانوناً واحداً على الأقل من قوانين الطبيعة مرتبطاً بوجودنا ارتباطاً واضحاً. لكن وفق ما نعرفه؛ فالنسبية العامة ضرورية في كون بنفس عدد أبعاد المكان والزمان، والقوانين، و/أو عدد القوات التي يتمتع بها كوننا. حينما نكتشف القانون أو القوانين الأساسية التي من شأنها توحيد القوى المختلفة وتوفيق النسبية ونظرية الكم، قد تستوقفنا نظرية النسبية بنتيجة حتمية وأساسية؛ كأوراق الشجر الخفيفة التي تلتقط الضوء. والأكثر من ذلك أن نظرية النسبية يمكن أن تكون حاسمة في مساعدتنا على الانتقال إلى ذلك المستوى التالي والأعمق للاكتشاف، كما فعلت نظريات **نيوتن** للجاذبية في السابق.

وحتى مع تجاهل هذه الإمكانيات، فإن الآثار المترتبة على الفضول المحتمل للنسبية بالنسبة لفرضيتنا، مبهمة؛ لأننا لم نجادل بأن كل شيء في الكون متعلق بصلاحية الحياة أو بالارتباط بينها وبين قابلية القياس. وقد تكون هناك بعض الحقائق حول الكون المفيدة لقابلية القياس لكنها غير مرتبطة بشكل مباشر بصلاحية الحياة. وهذا لا ينفي الادعاء القائل بأن شروط كل منها تتداخل إلى درجة مشبوهة وظاهريّاً محددة.

الاعتراض الثاني عشر: الارتباط ليس غامضاً أو خارقاً؛ لأنه نتيجة لعمليات طبيعية.

وهذا صحيح طبعاً. تختلف حجتنا عن بعض حجج التصميم التقليدية

والمعاصرة التي لا تتطلب أو تفترض التصميم المباشر للكيانات المحددة داخل العالم المادي. إننا لا ننكر كل هذه الحجج، لكننا لم نقل بأن الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس هو نتيجة لما يسميه الفلاسفة «عامل السببية» (agent causation) المباشرة داخل العالم الطبيعي. ركزنا فقط على تصميم الكون ككل. إننا ندعي أن الارتباط يشكل نمطاً ذا معنى ـ مُسَجًّى في قوانين الطبيعة وشروطها الأولية ـ لا يزال يدل على الغاية والتصميم في الكون. والمسألة هنا لا تتعلق بما إذا كانت توجد قوانين طبيعية، وعوامل وشروط أولية؛ بل بما إذا كان من الممكن أن تكون أدلة التصميم والغاية مبنية داخلها. ونحن نعتقد أنه كان أو كان من الممكن، جزئيّاً في الارتباط الصارخ بين صلاحية الحياة وقابلية القياس.

في كتابه «المبادئ»، جادل **إسحاق نيوتن** أن نظامنا الشمسي معقد جدّاً ومناسب للحياة لدرجة أنه لا بد أن يكون قد تم ضبطه. وخلص إلى أن «أجمل نظام للشمس والكواكب والمذنبات، لا يمكن أن ينبثق إلا من مشورة وسيادة كائن ذكي وجبار»[1] إذ كان النظام الشمسي في حدٍّ ذاته يقف بالنسبة لنيوتن كقطعة أثرية، أو كجسم صمم مباشرة، وهو أقرب إلى ساعة ويليام بالي الملقاة على الأرض. الآن، بالطبع هذه ليست حجتنا، لكن بما أن فكرة نيوتن فكرة يَنبُو عنها الكثيرون، من الواضح أنها إمكانية. وهي أيضاً شيء يمكننا أن نكتشف أنه على الأرجح صحيح على الأقل؛ فمثلاً: تخيل أننا سنكتسب ـ مستقبلاً ـ معرفة مفصلة عن الأنظمة الكوكبية خارج الشمس وعن ديناميتها. ونتيجة لذلك نكون قادرين على أن نحدد أن احتمال الحصول ـ حتى في كوننا المضبوط بدقة ـ على كوكب واحد شبيه بالأرض مع نظامه الشمسي وجميع الشروط التي يتطلبها، أقل واحد في $١٠^{١٨٠}$.[2] وهذا يعني: أنه، حتى

(١) Isaac Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (Berkeley: University of California Press, 1960), 542 - 544.

(٢) يجادل ويليام ديمبسكي أنه بإمكاننا أن نستبعد استبعاداً حاسماً الصدفة في الحدث إذا كان احتمال وقوع حدث ما، على ضوء كل «المصادر الاحتمالية» المتاحة، لا يزال واحد في $١٠^{١٥٠}$ (١٠ ـ ١٥٠). =

في كون مع ١٠^١١ نجم في كل مجرة و١٠^١١ مجرة، ما مجموعه ١٠^٢٢ محاولة متاحة، فإن احتمال الحصول على أحد هذه الأنظمة سيظل واحد في ١٠^١٥٨ واحتمال واحد في ١٠^١٥٨ قد لا يبدو مقداراً مهولاً للغاية بالنسبة للقارئ الذي لم يألف التعامل مع أعداد هائلة ممثلة بشكل مختصر. لكن حتى بالنسبة لعالم الرياضيات الأكثر تطوراً والأوسع خيالاً، فهو احتمال صغير لا يمكن تصوره؛ فاعتبار صلاحية الحياة كـ«تخصيص» ـ التي ستكون كذلك على نحو مؤكد، في مثل هذا السيناريو، لو حدد العلماء فعلاً أن احتمال إنتاج الكون لكوكب واحد صالح للحياة ١٠^١٥٨ ـ سيكون لدينا حجة لا يمكن ردها أن نظامنا الشمسي صنع إبداعي ضخم للذكاء؛ كالساعة أو بوينغ ٧٤٧. ومع أننا لا نستطيع الآن إلا أن نخمن إلا مقدار الاحتمال، ليس هناك سبب لنفترض أنه لم يكن في مقدور العلماء أبداً توسيع فهم دقيق كاف بخصوص متطلبات الحياة لتقديره تقديراً معقولاً ولا ينبغي أن نفترض ببساطة أن الاحتمالات لا يمكن أن تكون منخفضة بهذا القدر.

والإشكال الذي يصاحب هذه الحجة ـ أن وجود كوكب واحد فقط صالح للحياة صدفةً مستحيلٌ من الناحية الإحصائية ـ ليس أنها تنتهك بعض الشكوك الفلسفية، مع أنها تفعل بالفعل. إنما هو أننا لا نتوفر على المعلومات الكافية لتقييمها في الوقت الراهن. ولمصلحة الحجة، افترضنا أنه نظراً لقوانين الفيزياء (دقيقة الضبط)، والشروط الأولية للانفجار العظيم، وعدد النجوم والكواكب الموجودة في الكون، هناك احتمال لا يستهان به أن كوكباً آخر

= توصل إلى هذا العدد عن طريق الجمع بين عدد الجسيمات الأولية في الكون الملاحظ، ومدته حتى الموت الحراري، بالإضافة إلى زمن بلانك، الذي يعتبر أصغر وحدة زمنية لحدث فيزيائي. والفكرة هي أن تُعامَل كل الجسيمات في الكون كجزء من حاسوب عملاق. من الواضح أن واحداً في ١٠^١٥٨ يمكن أن يتجاوز «حد الاحتمال الكوني» هذا.

ومع ذلك، فإننا غالباً ما نستنتج التصميم بشكل سليم حتى عندما تكون الاحتمالات أعلى بكثير من حد الاحتمال الكوني الصارم جدّاً لديمبسكي. وبالإضافة إلى ذلك، فإننا لا نعرف في كثير من الحالات، إلا القليل عن الاحتمال الفعلي لإنتاج بنية. كيف يمكننا أن نتخذ قراراً كهذا بالنسبة لجبل رشمور مثلاً؟ انظر:

Dembski, *The Design Inference* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 203-214.

على الأقل، صالحاً للحياة كالأرض، سيتشكل. وهذا وإن كان افتراضاً عمليّاً، فهو معقول. بدأنا الآن ندرك أن كوكباً واحداً صالحاً للحياة يتطلب مجموعة من الأنظمة المتداخلة بدقة تتدرج من المستوى المحلي إلى المستوى الكوني. من الممكن أن هذه المجموعة غير محتملة بما يكفي لأن تجعل التشكل «المصادف» لمثل هذا النظام غير محتمل بشكل لا يمكن تصوّره. أو ربما لا

وعلاوة على ذلك، يعلم أي شخص مطلع على دينامية الأنظمة الكوكبية مدة صعوبة الحفاظ على استقرار نظام بتسعة كواكب كنظامنا على مدى مليارات السنين. (وفي الواقع فإن نظامنا الشمسي «مستقر بشكل مضطرب»). وبالتالي فإننا نشك أن تكون الكواكب الشبيهة بالأرض الحقيقية أكثر ندرة بكثير يفترضه معظم أنصار السيتي. لكننا لا نعلم بعد بالضبط مدى ندرة مثل هذه الأنظمة. ولسبب معين، لا نعرف النسبة المئوية للنجوم التي تضم كواكب شبيهة بالأرض، محاطة بنظام كوكبي مُواتٍ للحياة. ومن حسن الحظ، أننا لا نحتاج مثل هذه المعلومات الإحصائية المفصلة، أو حجة محلية للضبط الدقيق كحجة نيوتن، لنتعرف التصميم في هذه الحالة. فحجتنا لا ترتكز على فكرة أن الأرض فريدة من نوعها أو أن بيئتها ضبطت بشكل دقيق ومباشر؛ بل تقوم على **نمط** محدد ـ الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس ـ تمثل بيئتنا نموذجاً له.

الاعتراض الثالث عشر: لم تقدموا تحدياً للمذهب الطبيعي في حقيقة الأمر؛ بل التحدي (طبيعياً) فقط بإزاء فكرة أن الطبيعة لا تُظهر الغاية أو التصميم.

من الممكن أن تكون طبيعانيّاً وتقر في الآن نفسه بوجود التصميم في الطبيعة. ففي العالم القديم، كل من الأرسطيين والرواقيين كانوا على هذا. ربما يكون التصميم مثلاً، نوعاً ما جزءاً لا ينفك عن الكون الأبدي، كالمادة والطاقة. لا يمكننا أن نستبعد هذا نهائيّاً. إن الإشكال في الوضع الحديث هو أن هذه الاستراتيجية ستتطلب أساساً رؤية أَحَديّة للطبيعة التي ينفيها معظم

الطبيعيين. فالكون الذي يتضمن التصميم والغاية ـ والصدفة والقانون الطبيعي ـ يختلف تماماً عن «الطبيعة» كما يفهمها معظم الطبيعيين المعاصرين.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن كوسمولوجيا الانفجار العظيم تثبط وجهة النظر التي ترى أن الكون أبدي، وهو أمر ضروري إذا كان التصميم يوازي المادة، الزمن والقانون الطبيعي (لاحظ أن القانون نفسه ليس كياناً ماديّاً في حد ذاته، ولا عاملاً مسبباً) فالعامل المسبب الذي يتجاوز الكون بشكل ما تفسير طبيعي للانفجار العظيم والكون المادي الناتج الذي نعرفه، أكثر من أنماط التصميم الملازمة تلازماً تامّاً. ولا أحد هذين التفسيرين هو أفضل من وجهة النظر الشائعة حاليّاً عن أن الكون المادي هو كل ما هنالك، أو كان، أو سيكون، وأن الصدفة والضرورة الموضوعية تفسران وجوده بشكل خاص[(١)]

الاعتراض الرابع عشر: لم تبينوا أن الكائنات الفضائية غير موجودة.

هذا صحيح، لكننا لم ننو ذلك. ومن المفارق أن التصميم يمكن أن يعزز من إمكان وجود الكائنات الفضائية، وينبغي على أنصار السيتي أن يحيطوا بهذا علماً. إذا كنت تحاول أن تبحث للبقاء متفائلاً حول وجود الحياة الفضائية، فإن عربة المذهب الطبيعي تمنح أملاً ضئيلاً لإيصالك إلى أرض الميعاد. حيث يستبعد وجود الكائنات الفضائية بصورة متزايدة، إذا كانت مواردنا الوحيدة الحظ الأعمى والضرورة، فاحتمالات وجودها يمكن أن ترتفع إذا سمحنا بإمكانية وجود التصميم. مثلاً، ماذا لو كان الكون مصمماً لينتشر والحياة والكواكب الصالحة للحياة؟ حسناً، من المؤكد أنه سيزيد من احتمال إيجاد الكائنات الفضائية. وبينما يبدو واضحاً أننا نشك بخلاف ذلك، فإن السؤال ما إذا كانت توجد كائنات فضائية وكواكب أخرى صالحة للحياة

---

(١) كما ذكرنا في الفصل الثالث عشر، هناك أيضاً حجة فلسفية قوية ضد إمكانية كون ذي ماض لا نهائي. انظر على سبيل المثال:

William Lane Craig, *The Kalam Cosmological Argument* (Eugene, Ore.: Wipf & Stock, 1979), وWilliam Lane Craig and Quentin Smith, *Theism, Atheism, and Big Bang Cosmology* (Oxford: Clarendon, 1993).

مقالة كريغ الأخيرة التي تدافع عن هذه الحجة هي:

"In Defense of the *Kalam* Cosmological Argument," *Faith and Philosophy* 14 (1997), 236-247.

لا يزال سؤالاً مفتوحاً. وحجتنا لا تتطلب أن تكون حياتنا الحياة الذكية الوحيدة في الكون، ولا ألا تكون كذلك.

من التصميم إلى علم اللاهوت:

إن عدداً من الاعتراضات الشائعة على حجج التصميم المعاصرة هي في الأساس اعتراضات لاهوتية، ومعظمها يؤول إلى دعوى واحدة وبسيطة: «**ما كان الإله ليصنع هذا بهذه الصورة**». وكردٍّ على حجج التصميم، فإن هذا قول مضلل يصرف النَّظر عما هو أهم. ينبغي أن نميز بين حجة التصميم وحجة وجود الإله. وإذا كانت الحجة الناجحة لتصميم الكون تدعم الاعتقاد بوجود الإله، فهي لا تثبت وجود إله المعتقدات التقليدية؛ بل إن ما تقرره هو وجود مصمم كفء لتصميم الكون كما نراه.

كما يجب أن نميز بين التصميم من جهة وبين الكمالية أو الأمثلية من جهة أخرى. يمكن للشيء أن يكون مصمماً دون أن يكون مثاليّاً وفقاً لمعيار أو غيره. صُمّم النّموذج T لكنّه بالكاد كان مثاليّاً، وإن كان في وسع امرئ أن يصنع مِصْيد فئران أفضل لا يعني أن المصايد الحالية ليست مصممة. وبالمثل، يمكن للشيء أن يكون مصمماً؛ كالمقصلة مثلاً، حتى وإن كان يبدو لا أخلاقيّاً. وبما أننا لم نعرض حجة لاهوتية مفصلة، فإننا سنؤجل محاولة وضع تدبير مفصل لهذه النقطة إلى اللحظة الأخيرة. لكن يجب أن نخص بالذكر حجة غالباً ما تطل برأسها في أدبيات الدعاة إلى المبدأ الكوبرنيكي: لو كان الكون مصمماً لمراقبين أذكياء مثلنا كما يجادل كثيرون، فلماذا هو كبير جدّاً وعتيق جدّاً وغير صالح للحياة على نطاق واسع؟ ولا جرم أن الخالق الخبير والحكيم لن يكون مبذراً أو غير كفء.

لاحظ أن هذه الحجة لا تحمل في طيها مسألة التصميم. يمكن لشيء أن يكون فاسداً ومسرفاً وغير ناجع ويظل مع ذلك مصمماً. فكّر مثلاً في المقصلة، وسيادة الأسدل، والويندوز ٩٥. وبالإضافة إلى ذلك فإن هذه الحجة تفترض مسبقاً صورة سطحية بالكاد تكون موثوقة للمصمم الذكي الأكثر

احتمالاً ـ أي: الإله. وهذا لا يبدو واضحاً منطقيّاً؛ لأن مفهوم الكفاءة لا يتعلق بالعملاء القاصرين على الموارد المادية المحدودة فحسب. لن يكون كائن قوي بما يكفي تحت ضريبة يفرضها عليه أكثر الأكوان تطرفاً. ولا نشير إلى هذا بسبب إكراه ملح على حقن اللاهوت في العلم ولكن للإشارة فقط إلى أن الذين يعارضون التصميم قاموا بذلك فعلاً وبشكل ضعيف. وبالطبع، ليس هناك خطأ في المرور من الاستنتاجات العلمية بشكل خاص إلى التفكير اللاهوتي، لكن يجب أن نكون واعين بما كنا نصنع. والمثير للسخرية أن الحجج اللاهوتية من هذا النوع غالباً ما تأتي من الذين يصرون على أن العلم لا يستطيع أن ينظر في مسائل الغاية والتصميم. ومن الناحية المنطقية لا يمكنهم الظفر بكلا الموقفين. والأسئلة اللاهوتية المحددة تستحق أجوبة لاهوتية محددة.

خاتمة: قراءة كتاب الطبيعة

إن الفلسفة مكتوبة في هذا السِّفْر الضخم ـ أعني: الكون ـ الذي لا يفتأ ينفتح على دفّتيه أمام أعيننا، ولا نستطيع فهمه إلا إذا تعلمنا بدايةً فهم اللغة التي خط بها.

غاليليو، ١٦٢٣.

على الرغم من أن معظمنا يتذكر أبولو ٨ كأول مهمة مأهولة تدور حول القمر، أو ربما بوصفها البعثة المسؤولة عن التقاط الصورة الملهمة للأرض وهي «تشرق» من فوق أفق القمر، فإن قلة تعرف الآثار طويلة المدى التي خلفتها البعثة على أفراد طاقمها الثلاثة. عززت رؤية الأرض البعيدة من مدار القمر بالنسبة **لفرانك بورمان وجيم لوفيل**، اقتناعهم بأن البشر كانوا في وطنهم في الكون، وأن هناك ما هو أكبر من مجرد مسألة الحركة، وأنهم وأننا نوجد لغاية. وقد أخبر **لوفيل** العالم على بعد ٢٥٠,٠٠٠ ميل، في عشية عيد الميلاد سنة ١٩٦٨م: «تبدو الأرض من هنا واحة كبيرة في الفضاء الفسيح». ومع ذلك فقد كان لنفس المشهد رؤية مختلفة بالنسبة **لبيل أندرس** الذي التقط صورة شروق الأرض، إذا كان يوحي صغر حجمها وانعزالها وسط الفراغ الفاتر للفضاء بالاعتباطية الموحشة. وبعد تخليه عن الطقوس الكاثوليكية التي كان يتبنّاها، وصف لاحقاً انطباعه المبهم الذي بدأ في المدار القمري: «إننا نشبه النمل على جذع شجرة»[١]

(١) Robert Zimmerman, *Genesis: Apollo 8: The First Manned Flight to Another World* (New York: Dell Publishing, 1998), 242,293.

حتى في طاقم من ثلاثة، نشأ تفسيران متعارضان للعالم. بالنسبة للبعض، يوجد الكون بلا غاية ولا يخضع لأي تفسير أكبر منه، وبالنسبة للبعض الآخر، يجد الكون تفسيره الصحيح بالحديث عن الغاية، والتصميم والقصد.

إن الاكتشافات الموصوفة في هذا الكتاب، والحجة المطورة على ضوئها، تستحضر التركيز على هاتين الكيفيتين المختلفتين لرؤية العالم. بالنسبة للذين يعتقدون مسبقاً أن الطبيعة توجد لغاية معينة، كنتيجة لمجموعة محددة من وجهات النظر الفلسفية أو الدينية، قد تكون حجتنا مرضية، أو حتى متوقعة. قد يشير الشكوكي إلى أنه من الممكن أن هؤلاء الأفراد يفرضون نمطاً اصطناعيّاً على الأدلة، كما يفرض المرضى النفسيون تقريباً، أنماطاً على بقع رورشاخ. لكن هذه الشكوكية سيف ذو حدين؛ لأن هؤلاء «الشكوكيين» ربما أعموا أنفسهم عن الأنماط الحقيقية في العالم الطبيعي. ينبغي على الشكوكي العقلاني ـ في مقابل الشكوكي المتشدد الذي لا يكتفي بأي دليل ـ أن يعتبر على الأقل احتمال أن الطبيعة توجد لغاية. وبالنسبة للمنفتحين على هذا الاحتمال، يجب أن يكون الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس اكتشافاً اضطراريّاً. وحتى عند المنفتحين، لا يزال هناك ما نسميه «عائقاً إبستيمولوجيّاً» والذي قد يمنعنا من رؤية الأنماط الموجودة فعلاً. منذ القرن التاسع عشر، كففنا الهمة عن السؤال ما إذا كان يمكن أن يكون هناك دليل على الغاية أو التصميم الذكي في الطبيعة. إن تعرّف الارتباط كنمط ذي معنى بدلاً من مجرد فضول أو حظ، يتطلب منا إعادة إيقاظ بعض القدرات الفكرية الضامرة. ومن حسن الحظ أن العلماء لم يهملوا أبداً هذه القدرة، حتى لو أن كثيراً منهم أوقف استعمالها الواسع.

وهذا ما أعنيه. إن البشر يعرفون أكثر بكثير مما يستطيعون تفسيره أو وصفه وصفاً صريحاً. والسؤال: كيف نفعل هذا بالضبط فسؤال مثير للجدل، أما كوننا نفعله فَبيّن. غالباً ما يصف الكيميائي والفيلسوف **مايكل بولاني** هذه

القدرة بقوله: «إننا نعرف أكثر مما نستطيع قوله»[1] فلنعتبر مثلاً قدرتنا على التعرف على صديق أو زوج في حشد كبير من الناس. نحن نرى الملامح الفريدة والخاصة لوجوه الأفراد ولكننا لا ننتبه لها مباشرة. ولا أحد يفكر، «زوجتي لها شعر بني مع بعض الشعيرات الرمادية وعيون زرقاء وأنف مُدَوَّر وستة وعشرون نمشاً على وجهها وعظام وجنتيها بارزة. هناك شخص بكل هذه الملامح، فعلى الأرجح أنها زوجتي. إن التعرف أكثر دقة وخفاءً، ربما يجد البعض منا صعوبة في وصف وجه أحدهم على تفصيل يُمكّن الفنان من تصويره كما هو. ومع ذلك فمن السهل تمييز وجه مألوف عن عشرات الوجوه الأخرى المشابهة. وبالمثل، حينما يقرأ القراء الراشدون نصّاً مكتوباً، فهم لا ينتبهون إلى علامات الحبر المنفردة أو الحروف. يقول **بولاني**: إننا نوجه انتباهنا **من** الحروف **إلى** معانيها، ونركز على المعنى المتجسد في ترتيب علامات الحبر على الصفحة، فيتمثل النص بوصفه الأداة التي تنقل المعنى. ومع ذلك ينبغي إنماء القدرة على إدراك هذا المعنى. لا يمكننا مثلاً أن نقرأ الإنجليزية عن سليقة، لكن بفضل القليلِ من التربية، يصبح معظمنا ماهراً في معرفة الأنماط.

ومَثَل علماء الطبيعة كمَثل هؤلاء القراء، يُنمّون قدرتهم على قراءة الأنماط في الطبيعة. ويطورون قدرتهم على «قراءة» النمط الكامن وراء القطع المنعزلة للبيانات، كما «نقرأ خلف» الحروف والكلمات على الصفحة لإدراك معانيها، فقبل القرن التاسع عشر مثلاً، كانت الاكتشافات الأحفورية نادرة نسبيّاً وغير مفيدة، وكانت تعامل على أنها تحف أو قطع توضع على الرّفوف. اليوم، يعرف علماء الحفريات أين يجدر بهم البحث؛ فاكتشفوا الحفريات بشكل منتظم. ويملك خبراء الحفريات قدرة غريبة في كثير من الأحيان على معرفة أن حفريّاً معيناً هو لكائن حي بدل كونه من مجرد صخرة. بالنسبة لغير

(١) التصريح الكامل لرأي بولاني هو كتابه.
Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy (Chicago: University of Chicago Press, 1958).

المدربين في التنقيب الأحفوري، ربما تبدو هذه القدرة روحية.

وتعلَّم عالم الفلك **إدوين هابل** بالطريقة نفسها «قراءة» الكون المتوسع حينما التقط صور الانزياحات الحمراء للمجرات البعيدة. ولكي يقوم بهذا، كان عليه أن يفكر في إمكانية أن الكون لم يكن في سكون أبدي؛ بل كان يتغير بشكل كبير على مر الزمن، أو ربما كانت له بداية. أدى اكتشافه إلى تفتق مجالات جديدة للبحث وساعدت على تأمين شرعية علم الكونيات بوصفه نظاماً علميّاً. عندما يقرأ العلماء الطبيعة قراءة دقيقة، تكشف الطبيعة عن نفسها بطرق جديدة وغير متوقعة؛ كنص غني يحتمل عدة أوجه بالنسبة للمحلل المتأني. ترسم القراءة الصحيحة خطوطاً جديدة للبحث والاستكشاف. وهنا تكمن ميزة في رؤية الارتباط بين صلاحية الحياة وقابلية القياس كنتيجة للغاية لا مجرد الصدفة: يجب أن نتوقع إيجادها في أماكن أخرى، ويجب أن نتوقع مواصلة الاكتشافات بسببها. بالنسبة للذي أدرك أن الكون مصمم، يشبه هذا الارتباط إلى حدٍّ كبير الجمال الرفيع والأناقة الرياضية للعالم الطبيعي ـ أي: أنه لم يعد شذوذاً مضايقاً ينبغي تفسيره؛ بل شيئاً مذهلاً ومناسباً في آن واحد. وفي المقابل، فالنظر إليه على أنه مجرد صدفة، عقيم من الناحية النظرية والجمالية.

وبالطبع، فلرؤية التصميم والغاية الكامنة في الطبيعة، ربما يكون علينا أن نقوم بما تعلَّم العلماء القيام به بالعديد من النواحي الأخرى، تعلم «قراءة» الأنماط ذات الصلة، وتنمية القدرة على القراءة **من خلال** كتاب الطبيعة ككل. وقراءة المعنى الكامن وراءها. لقد قدّمنا عدداً من الحجج والتّفريقات لتسويغ ادّعائنا بأنّ الكون يقدّم دليلاً على التّصميم. وكلّنا ماهرون بالفعل في الكشف عن أنشطة العملاء الأذكياء. ومع أنّ علماء الآثار والمحقّقين ومفكّكي الشّفرات وباحثي السّيتي يملكون خبرة متخصّصة وأساليب محدّدة للكشف عن التّصميم، فإنّ كلّ شخص يقرأ نصّاً، أو يفهم لغة يملك نفس القدرة المطوّرة وإن كانت مبدئية. وكما أنّ كتاب النّحو لا يمكن أن يحلّ محلّ قراءة الأدب الرّفيع، فإنّ معرفة حجج التّصميم ومعرفة المعيار الذي نحيل به إليه لا يمكن

أن يحلّ محل تطوير القدرة على كشف التّصميم في الطّبيعة. يتطلّب تولّي هذه المهمّة قبل كلّ شيء، عقلاً منفتحاً على إمكانية تكاد تكون منسية.

وهكذا فإنّ استفسارنا يختصره سؤال واحد: أمن الممكن أن يكون هذا النّظام السّمفوني الهائل للذّرات، والحقول، والقوى، والنّجوم، والمجرّات والبشر نتاج اختيار أو غاية أو قصد بدل أن يكون مجرّد فعل مبهم لضرورة عمياء أو صدفة لا يمكن تفسيرها؟ إذا كان الأمر كذلك، فلا بد أنّه من الممكن أن يوجد دليل لاعتبار هذا الاحتمال.

لقد رأينا أن التّقدّم والاكتشاف العلميين يعتمدان على الطّبيعة أكثر من كونها مادّة في حركة، حتّى الحركة التي يمكن تعميمها بواسطة القوانين الطبيعية. إنّها بنية متقنة تحفظ كمّية هائلة من المعلومات المخزّنة عن نفسها وماضيها. تتيح بيئتنا الصّالحة للحياة الوصول إلى مجموعة استثنائية وحسّاسة للغاية من «أجهزة» تسجيل المعلومات التي تخزّن معلومات العالم الطّبيعي. ونحن بدورنا نمتلك الوسائل والقدرات المادّية والفكرية لخلق تكنولوجيات خاصّة بتحليل هذه الأجهزة.

توسّع التكنولوجيا من رؤية الإنسان وإبداعه. فكما تحسّن النّظارات والمصابيح من قدرتنا على قراءة النّصوص المكتوبة، مكّننا الميكروسكوب والتلسكوب من قراءة كتاب الطبيعة بشكل أعمق. وقد قمنا بذلك بسرعة ونجاح لا مثيل لهما خلال القرون القليلة الماضية. وهنا، اكتشفنا نمطاً صارخاً: وهو أنّ الشّروط العديدة التي تجعل منطقة معينة صالحة للحياة هي نفس الشّروط التي توجِد أفضل الأماكن العامة لاكتشاف الكون من تمثّلاته الدّقيقة إلى تجلّياته الواسعة. وهذه هي الحجّة والأعجوبة المركزيّة لهذا الكتاب.

أما السّخرية المركزية فربّما تتجلّى في هذا: كلّما علمنا إلى أيّ مدى يجب علينا أن نذهب في الاتّجاه الصّحيح لكي نحصل على كوكب واحد صالح للحياة، **تقلّصت** العقلية المادية وراء المبدأ الكوبرنيكي والسيتي أملَ العثور على الكائنات الذكية في مكان آخر. في ظل هذا النموذج،

ربّما يتلاشى هذا البحث ببطء وراء المقتضيات الضّنينة للصّدفة.

وفي المقابل، يمكن لحجتنا أن تحقّق أملاً مختلفاً آخر يلهم البحث عن الذّكاء خارج كوكب الأرض. وهذا الأمل المنسي يتخلّل معظم قصص الخيال العلمي. كان الإنسان، من «٢٠٠١: ملحمة الفضاء» و«ستار تريك» إلى «الفضائي» و«اتصال»، مشرَّفاً من طرف المرشدين الكونيّين: تحوّلت أشباه الآلهة من عصر سابق إلى كائنات فضائية طبيعية. في فيلم «اتصال»، يتم إرشاد إيلي أرواي من طرف كائن فضائي يبدو وكأنّه والدها الحكيم والمحب. في هذه القصص الأولى، نرى أن الإنسانية الحديثة تتوق للقاء شخصي، وتلتمس شبه عمياء طريقاً إلى شكل بسيط من الاستعلاء. ينطوي تحقيق أرواي على إشارة من الفضاء، تسلسلٍ مشفّر من الأعداد الأوّلية. القصّة خيالية ومثيرة، وفي الواقع لم نجد أيّ إشارة من هذا القبيل. ومع ذلك، بينما نقف في حالة تأمّل السّماوات التي تتجاوز واحتنا الصّغيرة، لا نحدّق إلى هاوية لا معنى لها بل ننظر إلى ساحة عجيبة توافق قدرتنا على الاكتشاف. وربّما كنّا ننظر في الماضي إلى إشارة كونية أكثر أهمية بكثير من أيّ تسلسل من الأعداد، إشارة تكشف عن كون متقن الصّنع لأجل الحياة والاكتشاف، والتي يبدو أنّها تهمس بذكاء فضائي أوسع وأقدم وأروع من أيّ شيء كنّا نتوقعه أو نتخيّله.

الملحق (أ)

النسخة المنقحة لمعادلة دريك

«إنّ اقتناع الإنسان بدرجة الدّقّة التي يتيحها الموضوع وكفُهِ عن السّعي في البحث عن مطلق الدّقّة عندما يكون الاقتراب من الحقيقة الإمكان الوحيد، دليلٌ على عقل راجح».

ـ أرسطو

كان أرسطو رجلاً حكيماً. لكن قلة منا خاصة العلماء والمفكرين، يتبعون قاعدته باستمرار. ونحن عادة ما نسعى إلى دقة أكبر من تلك التي يتيحها الموضوع؛ لذا ينبغي علينا دائماً أن نحذر من علامة مؤكدة لحجة فاسدة؛ أعني، الدقة الاصطناعية؛ فالدقة الاصطناعية استمالة خطرة بشكل خاص عندما نحاول تحديد احتمال وجود كوكب صالح للحياة. والنتائج مثيرة جدّاً بحيث تتعذر مقاومتها. وأن نقرأ ونكتب التصريحات عن اليقين أكثر أهمية من أن نردد عبارات مراوغة من قبيل «من الممكن» و«من المرجح» و«من المحتمل». (ومع ذلك فإننا نضيف ـ على حد تعبير هومر سيمبسون ـ أن المراوغة هي ما يميزنا عن الحيوانات باستثناء بني عِرْس).

وبما أننا لا نريد حجة فاسدة على الورق، فإننا لا نرغب في إعطاء أرقام دقيقة لمختلف العوامل اللازمة لصلاحية الحياة. ليس لأنها لا توجد؛ بل لأننا لا نعرف ما هي. ومع ذلك فإن معادلة دريك في حاجة ماسة إلى

تحديث. وإلى جانب هذا، لدينا فكرة تقريبية عن قيم بعض العوامل ذات الصلة؛ لذلك واستناداً إلى الأدلة التي نوقشت في هذا الكتاب، هذا قصارى جهدنا في تحديث معادلة دريك. لكن لا ينبغي أن يؤخذ هذا الملحق على أنه تنبؤ أو استلزام مباشر لحجتنا؛ بل هي فكرة تخطر في البال بعد حين.

يقدم **دونالد براونلي** وبيتر وارد في كتابهما: «الأرض النادرة: لماذا الحياة المعقدة غير شائعة في الكون؟»[١] نسختهما المنقحة لمعادلة دريك. وهكذا فهما يشيران ضمنيّاً إلى أن معادلة دريك الأصلية كانت على أفضل تقدير اختصاراً لعوامل متعددة غير واردة وغير معلومة يجب أن تتحقق كاملة للحصول على حضارة متصلة راديويّاً. نسخة «الأرض النادرة» للمعادلة هي كالتالي:

$$N = N^* \times f_p \times f_{pm} \times n_e \times f_g \times f_l \times f_i \times f_c \times f_L \times f_m \times f_j \times f_{me}$$

الذي يتضح أن هذه النسخة أطول من الأصلية. ومن خلال المقابلة بين النسختين فإننا نجد أن العوامل الجديدة هي: f_g، الذي يمثل نسبة نجوم النطاق المجري الصالح للحياة، f_{pm}، الذي يمثل نسبة الكواكب الغنية بالمعادن، f_m، الذي يمثل نسبة الكواكب ذات الأقمار الكبيرة، f_j، الذي يمثل نسبة الأنظمة التي تضم كوكباً بحجم المشتري، وf_{me}، الذي يمثل نسبة الكواكب التي تتميز بعدد منخفض لأحداث الانقراض الجماعي، لكن هذه النسخة من المعادلة غير كافية أيضاً[٢] وبناءً على المواد/المعلومات التي قمنا بعرضها من الفصل الأول إلى الفصل العاشر، يمكننا أن نضيف المزيد من العوامل. ومع إدخال عوامل إضافية، نوشك أن نفصل بين العوامل غير المستقلة في الواقع، فعاملي f_j وf^{me} الخاصة بالأرض النادرة، مرتبطة؛ كما أن بعض أحداث الانقراض الجماعي تعزى إلى اصطدامات المذنبات التي تعتمد

---

(١) Donald Brownlee and Peter Ward, *Rare Earth* (New York: Copernicus, 2000).

(٢) يعطي وارد وبراونلي في نسختهما لمعادلة دريك n_g، عدد النجوم في النطاق المجري الصالح للحياة، لكنها يجب أن تكون f_g، كما أوردنا في النص.

بدورها على وجود كواكب عملاقة. وبالتالي فبدلاً من إلحاق بعض العوامل الإضافية بمعادلة الأرض النادرة أعلاه، سنقترح نسختنا الخاصة بنا. وقد قمنا بصياغتها للتقليل من مثل هذا التداخل والتكرار. الاحتمالات منخفضة كما هي، وليس هناك داع للمبالغة. وبما أننا لسنا مهتمين بعدد الحضارات المتصلة بل بعدد الحضارات التكنولوجية فقط، فإننا لن نحتاج إلى عامل خاص بالاتصال الراديوي. وهذه هي العوامل وتعريفاتها:

* N العدد الإجمالي للنجوم في مجرة درب التبانة.

f_{sg} نسبة القزمة الأولى من نوع ـ G التي لا يقل عمرها عن بضعة مليارات السنوات على الأقل.

f_{ghz} نسبة النجوم المتبقية في النطاق المجرّي الصالح للحياة.

f_{cr} نسبة النجوم المتبقية بالقرب من دائرة الدوران المرافق وذات مدارات مجرية منخفضة الانحراف.

f_{spir} نسبة النجوم المتبقية خارج الأذرع الحلزونية.

f_{chz} نسبة النجوم المتبقية مع كوكب أرضي واحد على الأقل في النطاق حول النجمي الصالح للحياة.

n_p العدد المتوسط للكواكب الأرضية في النطاقات المجرّية الصالحة للحياة لهذه الأنظمة.

f_j نسبة الأنظمة المتبقية مع عدد قليل فقط من الكواكب العملاقة التي تعادل في كتلتها كتلة في مدارات دائرية كبيرة.

f_{cir} نسبة الأنظمة المتبقية مع النطاق حول النجمي الصالح للحياة مع انحرافات منخفضة وعزم مداري خطير ورنين الكواكب العملاقة.

f_{oxy} نسبة الكواكب المتبقية قرب الحافة الداخلية للنطاق حول النجمي الصالح للحياة التي تسمح بتركيزات عالية من الأوكسجين وتركيزات منخفضة من الكربون في غلافها الجوي.

f_{mass} نسبة الكواكب المتبقية في المجال المناسب للكتلة.

f_{comp} نسبة الكواكب المتبقية مع تركيز مناسب من الكبريت في نواتها.

f_{moon} : نسبة الكواكب المتبقية مع قمر كبير وفترة تناوب كوكبية مناسبة لتفادي التغيرات الفوضوية في ميلانها.

f_{water} نسبة الكواكب المتبقية مع كمية مناسبة من الماء في قشرتها.

f_{tect} نسبة الكواكب المتبقية مع دوْرية مستقرّة للصّفائح التّكتونية.

f_{life} نسبة الكواكب المتبقية حيث تظهر الحياة.

f_{imp} نسبة الكواكب المتبقية مع عدد قليل جدّاً من الاصطدامات الكبيرة.

f_{rad} نسبة الكواكب المتبقية المعرضة لعدد قليل جدّاً من أحداث الإشعاع العابر.

f_{lcomp} : نسبة الكواكب المتبقية حيث تظهر الحياة المعقدة.

fltech : نسبة الكواكب المتبقية حيث تظهر الحياة التكنولوجية.

f_L متوسط عمر حضارة تكنولوجية.

وحتى في هذا المستوى من التفصيل، أدرجنا ضمنيا بعض العوامل في عوامل أخرى. كان في وسعنا مثلاً أن نفرد المعدنية كعامل مستقل لكنه ضمني في تعريفات النطاق المجري الصالح للحياة، ونسبة النجوم ذات الكواكب الأرضية، ونسبة النجوم ذات الكواكب العملاقة، ونسبة الكواكب مع عدد منخفض من الاصطدامات الكبيرة. كما أن العامل الذي يتعامل مع التأثيرات الديناميكية لتابع نجمي يدخل ضمن العامل الذي يتطلب أن تكون للكواكب الأرضية والكواكب العملاقة مدارات دائرية. على الرغم من أن معظم التهديدات الإشعاعية تدخل في عاملي f_{ghz} وf_{spir}، لا يزال بعض منها كانفجارات أشعة غاما، والمستعرات بين الأذرع الحلزونية والانفجارات العملاقة من النجم المضيف، لاستيعاب هذه الحالات قمنا بإدخال عامل f_{rad}.

لسنا مستعدين لوضع القيم الخاصة بالعوامل كلها في معادلتنا. وسندعه كتمرين للقارئ. وهو تمرين مفيد من حيث تقدير العوامل المعروفة. لنبدأ بنسبة ١٠ في المئة. من المرجح أن هذه النسبة تقدير معقول بالنسبة لبعض

العوامل الفلكية المدرجة، لكن معظمها أصغر بكثير من تلك النسبة. ومن غير المحتمل أن يكون لعامل أو أكثر احتمالاً يصل إلى خمسين في المئة. دعونا ننظر في عاملين على التفصيل: f_j وf_{moon}.

يعرف الفلكيون الآن النسبة التقريبية للنجوم الشبيهة بالشمس مع كوكب عملاق واحد أو أكثر، تتراوح كتلته من واحد إلى عشرة أضعاف كتلة كوكب المشتري، ومع فترات مدارية تقل عن عشر سنوات. وهي حوالي خمسة في المئة. وكما أشرنا في الفصلين الخامس والثامن، تدور كل الكواكب (أو كلها تقريباً) المعروفة بضخامتها بالقرب من نجومها المضيفة، أو تتوفر على مدارات انحرافية للغاية تمنع تشكل الكواكب الصالحة للحياة أو الحفاظ على مدارات دائرية في نطاقاتها حول النجمية الصالحة للحياة. تتميز الكواكب في نظامنا الشمسي بمدارات دائرية أكثر مقارنة بالكواكب العملاقة التي وجدت حول النجوم الأخرى، يقدر متوسط انحراف الكواكب في النظام الشمسي بـ٠,٠٦ باستثناء بلوتو (الذي يفضل تصنيفه كجسم من حزام كويبر كايْبِر) إذا افترضنا سذاجة أن جميع انحرافات الكواكب موزعة توزيعاً منتظماً بين ٠ و٠,٨ (كما تبدو بالنسبة للكواكب العملاقة الملتقطة بطريقة دوبلر) فإن احتمال أن يكون نظامنا الشمسي مختار عشوائيّاً من هذا التوزيع.

يقدر بواحد في المليار تقريباً. وبما أن هناك المزيد لنعرفه بخصوص تشكل الأنظمة الكوكبية وتطورها، من الأفضل ألا نعتمد على هذا الحساب. ومن السخرية أن اكتشاف أن الكواكب العملاقة حول النجوم الشبيهة بالشمس يمكن أن تتخذ مدارات متنوعة أدى بنا إلى تقليص قيمة عامل f_j من التوقعات السابقة. وبالتالي فإن f_j لا يزيد عن ٠,١ في المئة تقريباً.

من المرجح أن نسبة الكواكب الأرضية مع قمر كبير بما يكفي لتحقيق استقرار محور دوران الكوكب أقل **بكثير** من عشرة في المئة. للإيتيان بتقدير لـf_{moon}، نحتاج أن نعرف كيف تشكل القمر. معظم علماء الفلك مقتنعون بأن تصادماً عابراً بين الأرض القديمة وجسم كوكبي أصغر هو أفضل ما يفسر أصل القمر. وكما رأينا في الفصل الأول، ليس هناك إجماع حتى الآن حول

المجموعة الأكثر احتمالاً لبارامترات الاصطدام للجسمين المصطدمين. ولتحقيق نتيجة مناسبة، يجب أن تكون خمس بارامترات على الأقل مضبوطة بدقة: توقيت الاصطدام، ونقطة الاصطدام على الأرض القديمة، واتجاه دوران الأرض القديمة، ومستوى الاصطدام بالنسبة لمستوى مسار الشمس وكمية حركته. يقدر العامل الثالث بالنصف بالمئة، والعامل الرابع بحوالي عشرين في المئة، والغالب أن العوامل الأخرى صغيرة. وبالتالي من المرجح أن f_{moon} لا تزيد عن ٠,٠٠١ تقريباً.

مع هذه الحدود القصوى المحتملة لعاملي f_j وf_{moon}، فإن متوسط عشرة في المئة بالنسبة للعوامل الثلاثة عشر الأولى يكاد يكون تقريباً مبالِغاً. كما أن قيم معظم العوامل الستة المتبقية أقل وضوحاً. لكن المرجح أن كل واحد منها صغير جدّاً. لكن لنكن أسخياء. إذا عيّنّا احتمالاً متسامحاً بقيمة ١٠ في المئة لكل عامل من العوامل الثلاثة عشر الأولى (من أصل عشرين عامل) فإننا ننتهي إلى عدد إجمالي للكواكب الصالحة للحياة في مجرة درب التبانة يقدر بـ٠,٠١. وبالتالي فإن احتمال أن مجرة درب التبانة تضم حضارة متقدمة أقل بكثير من واحد في المئة. وهذه نتيجة مثيرة للاهتمام بالفعل؛ لأننا موجودون.

هل هذا يعني: أن باحثي السيتي يضيعون وقتهم؟ ربما. بشكل عام، فإن أي استراتيجية للبحث عن جسم نادر أو حدث ينبغي أن تكون دقيقة جدّاً. لنفترض مثلاً، أنك تبحث عن نمل ذي نسبة ذكاء عالية. وتعلم وفقاً للدراسات المنشورة أن نملة واحدة فقط في مليار نملة ذكية بالفعل. ها أنت أنشأت طريقة سريعة وآلية للبحث ودقيقة بنسبة ٩٩,٩ في المئة. ومع أن هذا يبدو دقيقاً فإنه ليس دقيقاً بما يكفي للكشف عن نسبة ضئيلة من النمل. ولن تكون كل نملة ـ تقريباً ـ تجدها، عضواً من فرع المنسا المحلي للنمل؛ لأن العينة ستكون مغمورة بالإيجابيات الخاطئة. وعلى الأرجح ستحتاج إلى أساليب أخرى تستغرق وقتاً طويلاً لانتقاء النمل الذي تريد.

إذا كانت تقديراتنا للحدود القصوى لعدد الحضارات خارج كوكب الأرض في المجرة في أي مكان قريبة من الحقيقة، فإن الإيجابيات الخاطئة

للسيتي ستطغى على حالات الكشف إلا إذا كانت الطريقة قريبة من مئة في المئة من حيث الدقة. وهذا يعني: أن المعايير الحالية لتحديد إشارة للذكاء الخارجي ـ عرض نطاق ضيق جدّاً يتم التقاطه باستمرار على أكثر من تليسكوب واحد ـ قد لا تكون كافية لإقصاء الإشارات الخاطئة. وفي الواقع، كانت هناك بعض الإنذارات الخاطئة خلال العقود القليلة الماضية، يرجع معظمها إلى الأقمار الاصطناعية في مدار حول الأرض. ولهذا السبب تبنى باحثو السيتي معايير أكثر صرامة. ربما حان الوقت للانتقال إلى عتبة كشف أخرى كالتي استخدمت في فيلم «اتصال».

وربما كان من الأفضل أن يتم إنفاق تمويل السيتي في تدقيق الحسابات النظرية لاحتمالات وجود الذكاء الخارجي. ينبغي على علماء الفلك الذين يقترحون استخدام تليسكوبات راديوية كبيرة لمزيد من مشاريع البحث، إقناع مجموعة من أقرانهم أن لديهم فرصة معقولة للنجاح[1] إذا كان يرغب باحثو السيتي في التنافس على الأدوات العامة، فعليهم أن يبينوا على الأقل أن مقترحاتهم تمتلك فرصة للنجاح. لكن معظم بحوث السيتي تُموّل الآن خصوصيّاً، وهذا بلد حر، فمن نحن لنقدم الشكوى؟

ليس من الواضح أن إدراج المجرات الأخرى في الكون المرصود سيرفع الفرص بشكل كبير؛ فربما يعتمد الأمر على أهمية خصائص المجرة لصلاحية الحياة وعلى قيم «عوامل الحياة» المتبقية، مثل أصل الحياة البسيطة والمعقدة. ومع أن المعادلة قد لا تكون تامة حتى في صياغتها الحالية، فهي أفضل ما يمكننا القيام به في الوقت الراهن. لا تزال هناك العديد من الاكتشافات التي تنتظرنا، يتعلق كثير منها بهذه المعادلة. ومع ذلك فنحن على استعداد أن نراهن أننا كلما تعلمنا، أصبحت النتيجة النهائية أصغر. فهل من متطوع؟

---

(١) للاطلاع على تحليل ونقد مقنعين لـ«كفاءة بحث» السيتي، انظر:
André Kukla, "SETI: On the Prospects and Pursuitworthiness of the Search for Extraterrestrial Intelligence," *Studies in the History and Philosophy of Science* 32, no. 1 (2001): 31-67.

الملحق (ب)

ماذا عن البانسبيرميا؟

لن تكتمل أية مناقشة حديثة بخصوص المتطلبات الأساسية للحياة ولأصلها على الأرض دون اعتبار المصادر الخارجية الممكنة. أصبحت الفكرة القائلة: إن الحياة على الأرض قد «خُصّبت» من قبل الميكروبات من خارج مناطقها المجاورة تعرف باسم بانسبيرميا. كانت هذه الفرضية موجودة منذ عهد الفيلسوف قبل الأرسطي أناكساجوراس، ولكن العلماء لم يأخذوها على محمل الجد، إلى أن أعاد إحياءها **سفانتي أرهينيوس** الحائز على جائزة نوبل السويدية قبل قرن[1] وقد أعاد الجيل الحديث من العلماء النظر في فرضية بانسبيرميا، مستحضرين المعرفة المكتسبة من مختلف التخصصات العلمية، كعلم الأحياء الدقيقة، وفيزياء التصادم، والديناميات المجرّية، والديناميات الكوكبية. ولها تطبيقات في أصل الحياة على الأرض وانتشارها في المجرة. تتعامل مناقشات البانسبيرميا مع مستويين مختلفين تماماً: البينجمي والبيكوكبي.

لننظر في كلٍّ منهما على الترتيب:

قبل التّسعينيات، شكّ معظم علماء الكواكب أن الشّظايا الكاملة لقشرة كوكب يمكن أن تنفجر عن سطحه وتُلقى في الفضاء. وتبدّد هذا التّشكك في

---

(١) Svante Arrhenius, *Worlds in the Making* (New York: Harper & Row, 1908).

تعيين النّيازك من المريخ والقمر قبل بضع سنوات فقط. وبما أنّ المرّيخ جسم كوكبي كبير نسبيّاً مع غلاف جوي، فقد كان اصطدامه بكويكب أو مذنّب اصطداماً قوياً أدّى إلى تناثر أجزاء من قشرته في مسار أوصلها في نهاية المطاف إلى الأرض. وإضافة إلى الصّخور الكبرى وأخرى بحجم القبضة، ولّد اصطدام كبير الكثير من القذائف بحجم الغبار، وكانت تدور أجزاء القذائف بحجم الصّخور حول الشّمس تحت تأثير الجاذبية الصّادرة منها ومن الكواكب الرّئيسية. وقُذف جزء صغير من النّيازك المرّيخية من النّظام الشّمسي في لقاء قريب مع المشتري أو زحل. يسمّى هذا النّمط من البانسبيرميا، الليثوبانسبيرميا. يقدِّر عالم الفلك الكوكبي جاي ميلوش، المتخصّص في الاصطدامات، أنّ حوالي خمسة عشر نيزكاً مرّيخياً يزيد قطره عن عشرة سنتيمترات يُقذف من النّظام الشّمسي كلّ سنة[١] وعدد النّيازك الأرضية والزُّهرية المتاحة للقذف من النّظام الشّمسي أصغر بكثير، نظراً للجاذبيات السّطحية الكبيرة والأغلفة الجوّية الكثيفة التي تتّسم بها هذه الكواكب. ولم تتمكّن كميات كبيرة من الشّظايا من الإفلات إلّا خلال التّاريخ القديم للنّظام الشّمسي. بالتّأكيد، ليست كلّ شظايا القذائف تحتوي على كائنات حية. تأتي ٠,٢ في المئة فقط من كتلة القذائف من سطح الكواكب حيث تقيم الحياة، لكنّ السّطوح الصّخرية أقلّ احتمالاً لأن تتعرّض للانصهار والاصطدام.

يحدد الضغط والجاذبية من إشعاع الشمس مسار حبيبات الغبار. إذا كانت حبيبات الغبار صغيرة كفاية، فإنها تستطيع أن تحقق سرعة إفلات (escape velocity) وتغادر النظام الشمسي. يسمى هذا النمط للبانسبيرميا بالراديوبانسبيرميا. يمكن طرد البكتيريا الصغيرة من النظام الشمسي بهذه الطريقة، ولكن الأشعة فوق البنفسجية للشمس تقتلها على الفور تقريباً. يمكن للبكتيريا المدرعة أن تنجو من الإشعاع، لكن الكتلة الزائدة لهذا التدريع

---

(١) Jay Melosh, "Exchange of Meteoritic Material Between Stellar Systems," *Lunar and Planetary Science* XXXII (2001): 2022.

ستمنعها من مغادرة النظام الشمسي(١)

سيكون هناك ما يكفي من الضغط الخفيف لدفع البكتيريا المدرعة من النظام الشمسي فقط عندما تصبح الشمس نجماً أحمر عملاقاً مضيئاً. لكن بحلول ذلك الوقت ستكون الأرض ميتة. وبالتالي فمن غير المحتمل أن تنجح الراديوبانسبيرميا في نقل كائنات حية للأنظمة عَيُوشة الكوكبية الأخرى.

مع سرعة قذف قياسية تقدر بخمسة كيلو مترات في الثانية، يمكن لنيزك مقذوف من النظام الشمسي أن يسافر بسرعة ست عشرة سنة ضوئية في مليون سنة. ومن المحتمل جدّاً أن يلتقطه نظام كوكبي آخر إذا كان يضم كواكب عملاقة تدور في مدارات كبيرة كمداراتنا. وهذا أمر مثير للاهتمام؛ لأنه لم يُعثر على مثل هذه الكواكب حول جميع النجوم القريبة الشبيهة بالشمس (انظر: الفصلين الخامس والثامن). وبمجرد التقاط الصخرة المطرودة من نظامنا الشمسي فإنها سترقص حول الكواكب في نظام منزلها الجديد، وتصطدم في نهاية المطاف بأحدها. إذا كانت هناك كواكب أرضية في النظام المستهدف، فإنها ستتلقي نسبة صغيرة من الصخور الملتقطة. ومن هذه النسبة لن تنجو إلا نسبة ضئيلة من الدخول إلى سطح الأرض؛ ومعظمها يخترق الغلاف الجوي للكوكب بسرعة كبيرة فتتفكك قبل وصولها إلى السطح.

يقدِّر ميلوش أن نيزكاً مريخيّاً واحداً على الأقل يتم التقاطه من طرف نظام نجمي آخر كل مائة مليون سنة؛ وإذا كنّا مهتمّين بتقدير عدد النّيازك التي يمكنها أن تنقل المادّة العضوية، سيتعيّن علينا إدراج عوامل أخرى، التي ستؤدّي إلى تقليص هذا العدد بشكل كبير. وبالطّبع، بما أنّ المشتري قاحل جدّاً، فلا يهمّ كم عدد النّيازك المرّيخية التي وصلت إلى نظام كوكبي آخر. وبالمثل، فإن الشّظايا الكوكبية التي تغادر الأنظمة الأخرى ستكون على

---

(١) J. Secker, J. Lepock, and P. Wesson, "Damage Due to Ultraviolet and Ionizing Radiation During the Ejection of Shielded Microorganisms from the Vicinity of 1 Msun Main-Sequence and Red Giant Stars," *Astrophysics and Space Science* 219 (1994), 1-28. J. Secker, P. Wesson, and J. Lepock, "Astrophysical and Biological Constraints on Radiopanspermia," *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* 90 (1996) 184-192.

الأرجح من كواكب بحجم المريخ التي يحتمل أن تكون قاحلة أيضاً.

في طريقه إلى نظام كوكبي آخر، سيتعرّض نيزك يحتوي على الكائنات القابلة للحياة للأشعّة الكونية المجرّية والإشعاع الصّادر من تناقص النّظائر المشعّة داخله. ولا يُتوقّع أن تنجو البكتيريا الأكثر تحمّلاً من هذه البيئة لأكثر من عشرة آلاف سنة تقريباً. ومع معرفة هذا، يقترح بعض دعاة البانسبرميا أن عدداً قليلاً من أجزاء الحمض النووي (DNA) والحمض النووي الريبي (RNA) كافية لانطلاق الحياة على كوكب آخر[١]

تظهر تجربة بسيطة عدم مصداقية هذا الاقتراح: خذ بعض البكتيريا، قم بسحقها، وفكك حمضها النووي إلى أجزاء صغيرة وانثرها على علبة بتري معقمة مع وسط نمو به أغار؛ يمكنك إضافة مكون سائل وتحريكه حتى لتحفيز التفاعلات. إذا كنت طموحاً، حاول مئات أو آلاف المرات. لن ينتج شيئاً مهماً. وإن لم ينتج شيء بعد العديد من التجارب، لماذا يجب إذن أن تتوقع أن تُخصّب بكتيريا ميتة كوكباً حول نظام كوكبي آخر، كوكب يوفر ظروفاً أقل ملاءمة للحياة؟

على الرغم من أن البانسبيرميا البينجمية غير محتملة للغاية، فإن البانسبيرميا البيكوكبية أكثر احتمالاً[٢] تم تبادل الكثير من المواد بين الأرض والمريخ والزهرة عندما كان النظام الشمسي لا يزال حديث العهد ولما كانت الاصطدامات الكبيرة متكررة. وتقاس فترات الانتقال بالآلاف لا الملايين، من السنوات. هناك شك في أن كميات كبيرة من الكائنات القابلة للحياة قد هبطت بأمان على أسطح المريخ والزهرة. فلماذا إذن لم تصمد الحياة على هذه العوالم؟

(١) Secker, et al. "Damage Due," "Astrophysical and Biological Constraints" (1994. 1996).

(٢) C. Mileikowsky, et al., "Natural Transfer of Viable Microbes in Space: 1. From Mars to Earth and Earth to Mars," *Icarus* 145 (2000), 391-427.

شكر وتقدير

يستحق كثير من الناس التقدير لمساعدتهم في هذا الكتاب ـ وهم كثيرون حقيقة، حتى إننا نخشى ألا نذكر بعضهم. وكان كثير من الأشخاص كرماء بما يكفي لمراجعة أجزاء من مستندنا المكتوب أو كله. وساهم آخرون بالمعلومات الضرورية والفروق الحاسمة والحجج الثاقبة. ونحن ممتنون بشكل خاص لجوناثان ويت (Jonathan Witt) وأندرو سبيرلينغ (Andrew Sperling). قدم جوناثان اقتراحات تحريرية متعددة للنسخة الأولية من مستندنا، وكان جريئاً بما فيه الكفاية ليشجعنا على حذف بعض النصوص غير الضرورية. وقدم أندرو مساعدة لا غنى عنها فيما يخص العديد من الرسومات التخطيطية. ولولا مساعدته، لكان النص متفرِّقاً وقليل البيان والتأثير. كما نود أيضاً أن نشكر سام فليشمان (Sam Fleishman) لِلَمْحِه الأهمية الكامنة في هذا المشروع عندما كان مجرد فكرة مرفقة ببعض الأمثلة.

قدَّم لنا بن ويكر (Ben Wiker) ومايك كيس (Mike Keas) نصائح ممتازة حول المستند، خاصة في الأبواب التاريخية منه. وقدم بروس نيكولز (Bruce Nichols) نصائح تحريرية في المراحل الأولى من كتابنا. والشكر أيضاً لكري ماغرودر (Kerry Magruder)، دينيس دانيلسون (Dennis Danielson)، مايكل كرو (Michael Crowe)، وتيد ديفيس (Ted Davis) لقراءة فصلنا التاريخي (وإعانتنا على تفادي عدة أخطاء). كما استفدنا من اقتراحات نانسي بيرسي (Nancy Pearcey) وآلان ساندیج (Allan Sandage) وكيلر كوهن (Kyler

(Kuehn) وبيل دمبسكي (Bill Dembski) وبيتر هودجسون (Peter Hodgson) وجوش جيلدر (Josh Gilder) وفيل سكيل ودانيال باكن (Phil Skell) وديفيد سنوك (David Snoke) وسكوت مينيتش (Scott Minnich) ووجيني ريتشاردز (Ginny Richards).

وعرض كلٌّ من روبن كولينز (Robin Collins) وديل راتسش (Del Ratzsch) بعد النصائح التقنية المفيدة جدّاً. وكان روبن وديل مشاركين أيضاً في الندوة التي عقدت في جامعة نوتر دام، "The Mathematics of the Fine-Tuning Argument"، في أبريل ٢٠٠٣م، إلى جانب نيل مانسون (Neil Manson)، وتيم (Tim)، وليديا ماكغرو (Lydia McGrew)، ونيك بوستروم (Nick Bostrom)، وروجر وايت (Roger White)، وأليكس بروس (Alex Pruss)، وبريان بيتس (Brian Pitts). كنا سعداء لانضمامنا إلى هذا الاجتماع، واستفدنا جدّاً منه.

نتقدم بالشكر لجون آرمسترونغ (John Armstrong)، ودون براونلي (Don Brownlee)، وتوم كوين (Tom Quinn)، وفورست ميمس (Forrest Mims) لتوفير البيانات العلمية والرسوم التوضيحية، ومريام مور (Miriam Moore) من دار ريجنيري (Regnery) للنشر، على تحريرها الدقيق للمخطوط الكتابي النهائي.

نود أن نشكر مؤسسة جون تمبلتون (John Templeton Foundation)، التي قدمت بسخاء الدعم المالي لأحدنا (غ. غ.) للبحوث في هذا الكتاب في إطار برنامجها "Cosmology & Fine-Tuning Research Program (Grant ID #938-COS187".

وأخيراً، نشكر معهد ديسكفري (Discovery Institute)، وخاصة بروس تشابمان (Bruce Chapman) وستيف ماير (Steve Meyer) وجون ويست (John West) وبوب سيهاك (Bob Cihak)، على دعمهم وتشجيعهم الدؤوب خلال عملنا على هذا المشروع.

ولا ينبغي أن يُفسّر التقدير على أن كل فرد يتفق معنا. وإن ظلّت أي أخطاء فهي طبعاً تعود إلينا.

أصحاب الفضل في الرسومات

• تم إنشاء العديد من الرسوم التخطيطية بمساعدة قيمة من أندرو سبيرلينغ (Andrew Sperling) في معهد ديسكفري (Discovery Institute). من بين هذه الرسوم، معظمها أصلي لكن بعضها رُسِم مع بعض التغييرات تبعاً لرسوم تخطيطية منشورة أخرى. ترد المعلومات البيليوغرافية الكاملة لكثير منها في الحواشي السفلية للفصول ذات الصلة. يتم رسم الأشكال ١,١ و١,٣ و١,٧ تبعا لِـ Littmann وآخرون، ص. ٨ وص. ١٣١ وص. ٨٨، على التوالي. الشكل ٢,٤ تبعاً للشكل ١ من Zachos et al., "Trends Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present," *Science* ٢٩٢ (٢٠٠١): ٦٨٦-٦٩٣. الشكل ٣,١ تبعاً للشكل ١٧,١٠ من Tarbuck and Lutgens (1999). الشكل ٣,٢ تبعاً للشكل ١٩,٢٨ من Tarbuck and Lutgens (199). الشكل ٣,٥ تبعاً لـ P. Cloud, *Oasis in Space: Earth History from the Beginning* (New York: Norton), 1988. الشكل ٣,٦ تبعاً لـ Van der Voo (1990). الشكل ٨,٢ تبعاً لـ Vallée (2002). الشكل ٨,٧ تبعاً للشكل ٣٩ من Timmes et al. (1995) والشكل ١ من Samland (1998)). الشكل ٩,٣ تبعاً للشكل ٧ من Perlmutter et al. (1999). الشكل ٩,٥ تبعاً للشكل ١٧ ـ ١٣، Neil F. Comins and William J. Kaufmann III, *Discovering the Universe* sixth edition (New York: W.H. Freeman and Company), 2003. الشكل ١٠,٢ تبعاً للشكل ٧,١٥ من Rolfs and Rodney 1988). الشكل ١٠,٣ تبعاً للشكل ٤ من Tegmark 1998). اللوحة ١٥ تبعاً للشكل ٩ ـ ١٥ من Michael A. Seeds, *Stars and Galaxies*, 2nd edition (Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 2001).

- الشكلان ٥,٦ و١٢,٢، واللوحة ١٦،١، بفضل الناسا. الشكل ٥,٣ واللوحتان ٢ و١٠ بفضل الناسا/ Cal Tech /JPL. الشكل ١٥,١ بفضل الناسا و Viking Project و Malin Space Science Systems. اللوحة ١٢ بفضل R. R. Evans, J. Trauger, H. Hammel, the HST Comet Science Team والناسا. اللوحة ١٨ بفضل Robert Williams, Hubble Deep Field Team والناسا. اللوحة ١٩ بفضل NASA/ WMAP Science Team. الأشكال ١,٥ و٦,١ (صورة آينشتاين) و٩,٢، و٩,٨ بفضل US Naval Observatory Library. الشكل ١,٦ بفضل Lick Observatory. الشكل ٢,٢ بفضل Jeremy Young وNatural History Museum في لندن. الشكل ٢,٣ بفضل NOAA. اللوحة ٦ بفضل National Geophysical Data Center's Marine Geology وGeophysics Division/NOAA. الشكل ٣,٣ من A. D. Raff and R. G. Mason, "Magnetic Survey off the West Coast of North America, 40.N Latitude to 52.N Latitude," *Geological Society of America* Bulletin ٧٢ (١٩٦١): ١٢٦٧-١٢٧٠، بفضل the Geological Society of America.

- الشكلان ٤,٢ و٨,٥ بفضل Donald Brownlee. الأشكال ٥,٥ و٦,٢ و٨,١ (يساراً)، و٨,٤ و٨,٩ و٨,١٠، اللوحات ٣ (أعلى)، و٨ و٩ و١٣ و١٤، هي من طرف Guillermo Gonzalez. الشكل ٨,٣ بفضل Ronald Drimmel. الشكل ٩,١ بفضل the Observatories of the Carnegie Institution of Washington. الشكل ١٤,١ من جامعة شيكاغو، بفضل AIP Emilio Segrè Visual Archives.

- الشكل ١٥,٢ بفضل William Dembski. اللوحة ٣ (أسفل) بفضل Mike Reynolds. الصورة الأصلية المستعملة في اللوحة ٤ هي بفضل Jagdev Singh of the Indian Institute of Astrophysics, Bangalore, India. اللوحة ١١ بفضل Robin Canup and Bill Ward.

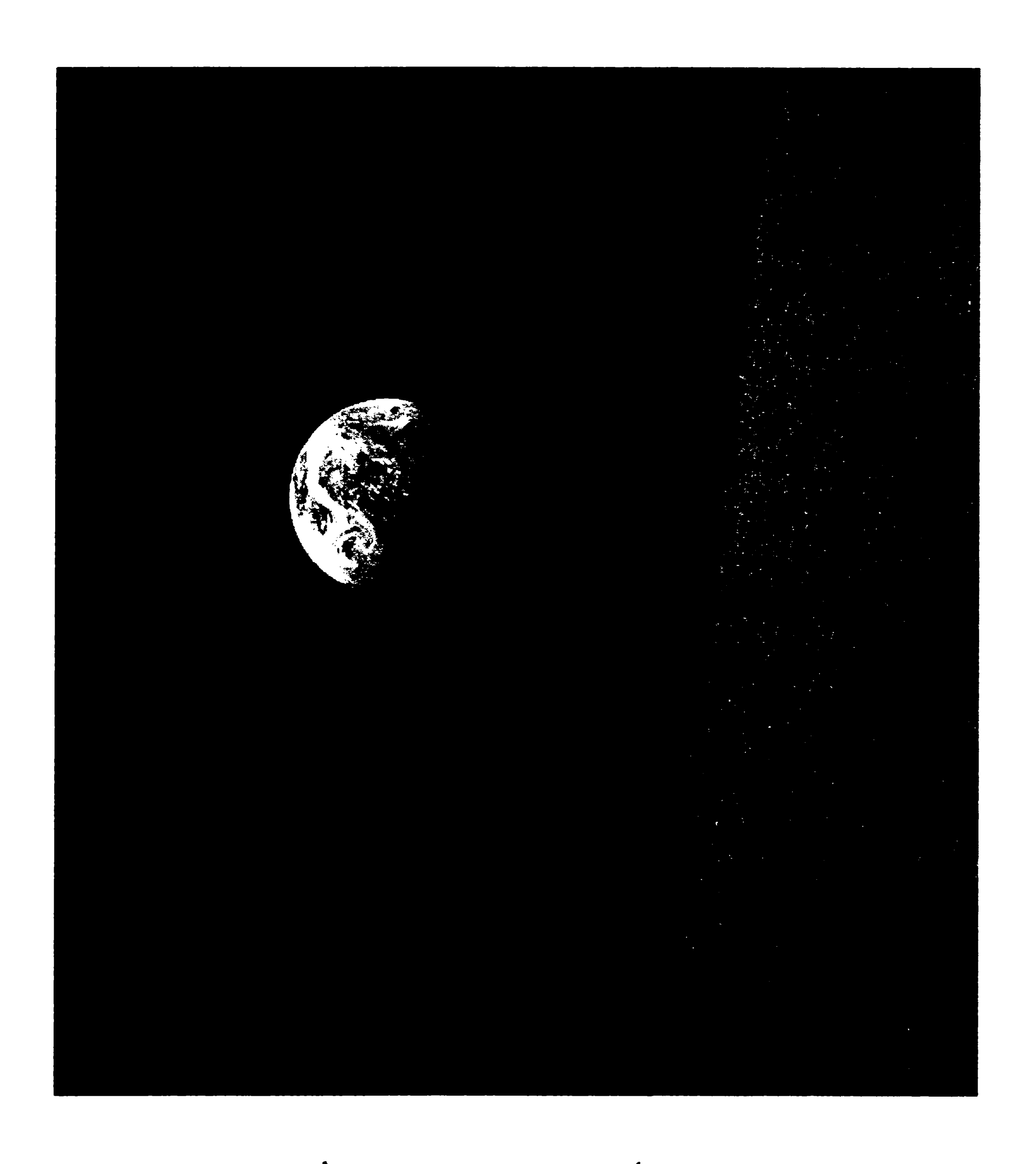
- يعتمد الشكل ٢,١ على البيانات المشار إليها في (Petit et al. 1999). يعتمد الشكل ٢,٦ على بيانات عينات الجليد لقمة غرينلاند بعمق ١,٩ ميل تم الحصول عليها كجزء من (Greenland Ice Sheet Project 2 (GISP2، والبيانات من Quaternary Isotope Laboratory at the University of Washington.

- البيانات عن الأرض في الشكل ٥,٢، مستمدة بفضل Thomas Quinn، والبيانات عن المريخ بفضل John Armstrong. في الشكل ٧,٥، بيانات المذنب من قاعدة

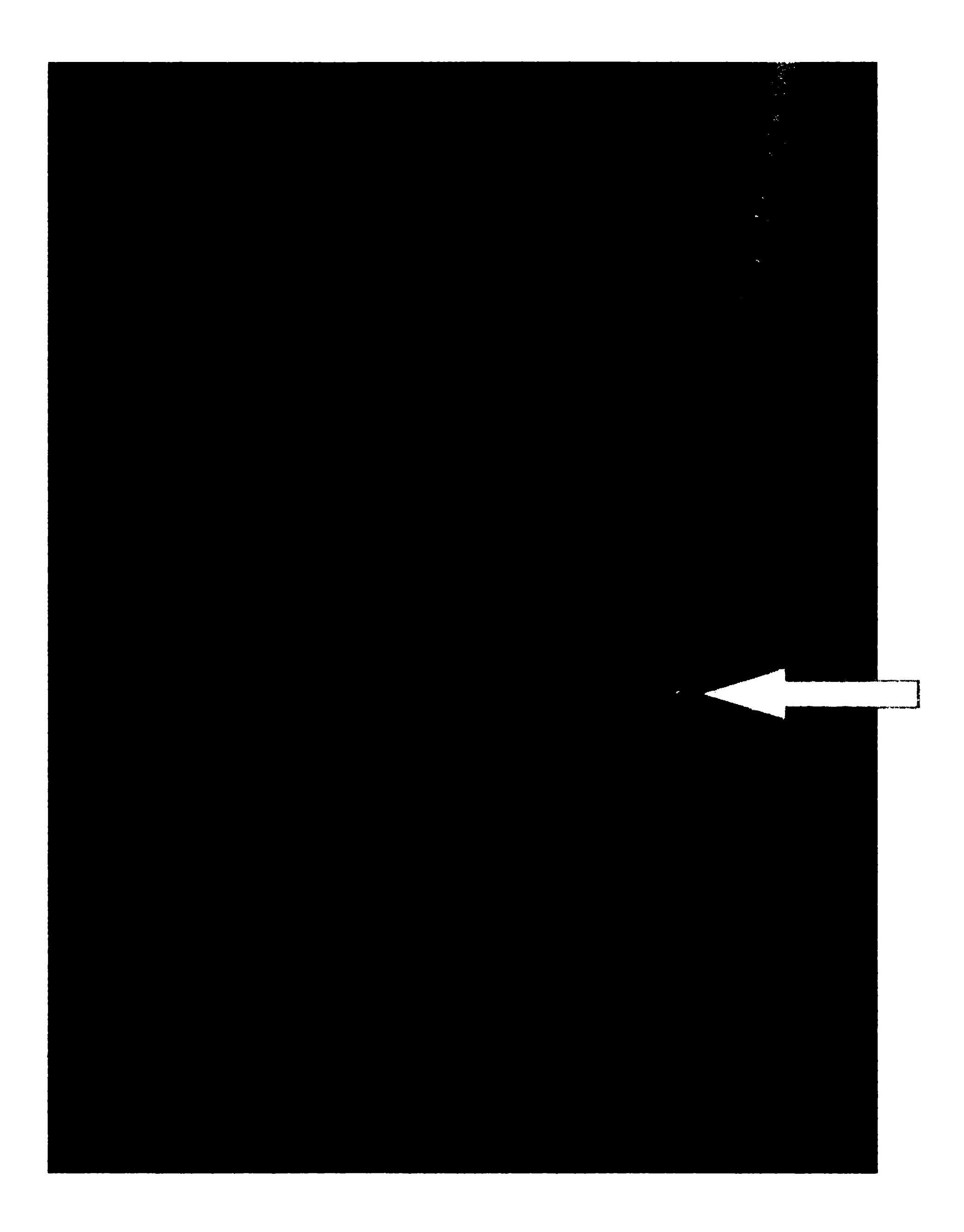
بيانات JPL's DASTCOM اعتباراً من ٢١ يونيو ٢٠٠٣م. بيانات الكويكبات من Minor Planet Center وتشمل جميع الأجسام الكبيرة بحوالي نصف كيلو متر في قاعدة البيانات الخاصة بهم اعتباراً من ٢١ يونيو ٢٠٠٣. وتقتصر كلتا القاعدتين على الكويكبات والمذنبات مع عناصر مدارية معروفة. الشكل ٨,٦ تابع للشكل ٤ من Laws et al. (2003).

- الصور التاريخية في الأشكال ٦,١، و٦,٣، و١١,١، و١١,٢، و١١,٤ ـ ١١,١٤، و١٣,٣ مستمدة بفضل جامعة أوكلاهوما، History of Science Collections، وبعض المعلومات في العناوين التوضيحية لهذه الأشكال هي بفضل Kerry Magruder, History of Science Collections, University of Oklahoma.

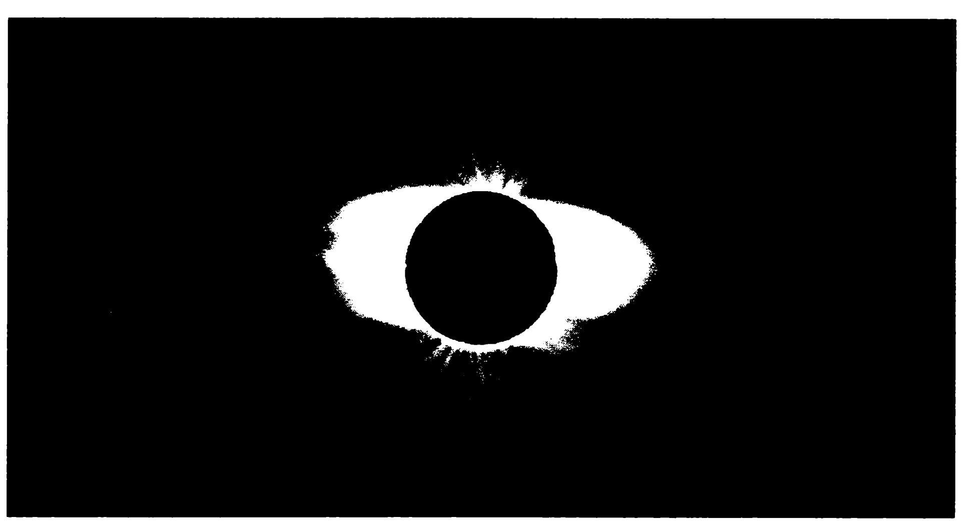
ملحق اللوحات

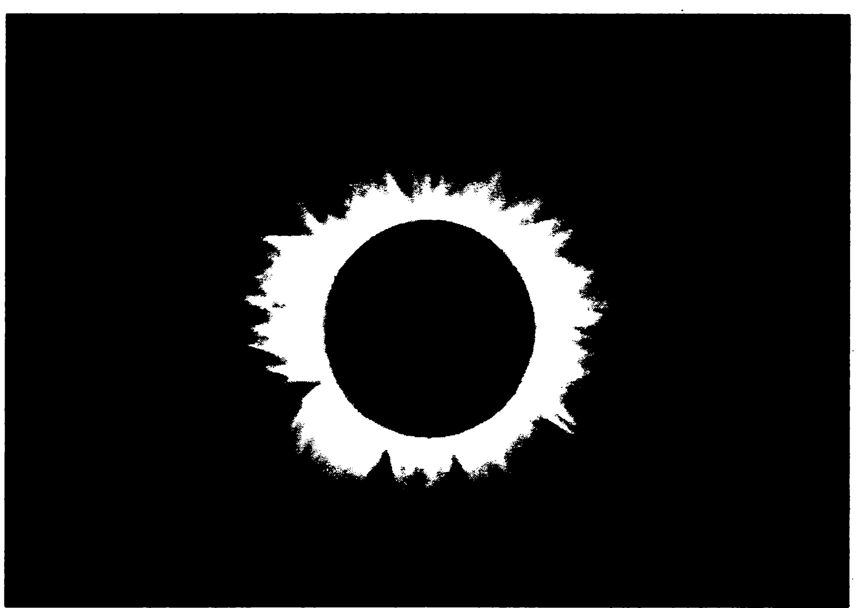


● اللوحة ١: صورة شروق الأرض الشهيرة التي التقطها بيل أندرس في ٢٤ ديسمبر ١٩٦٨م. التقط أندرس الصورة والقمر على يمينها إذ ظن أنهم ظن أنهم يدوران حول القمر عند خط الاستواء. بعدها بقليل التقط فرانك بورمان صورة بالأسود والأبيض يظهر فيها الأفق القمري بالأسفل. عادة ما يتم تدوير صورة أندرس بتسعين درجة لكي تتلاءم مع نفس اتجاه الصورة التي التقطها بورمان، وذلك عند النشر. لقد أصبحت الصورة رمزاً مؤثراً إن لم نقل مبهماً لموقع الأرض في الكون.

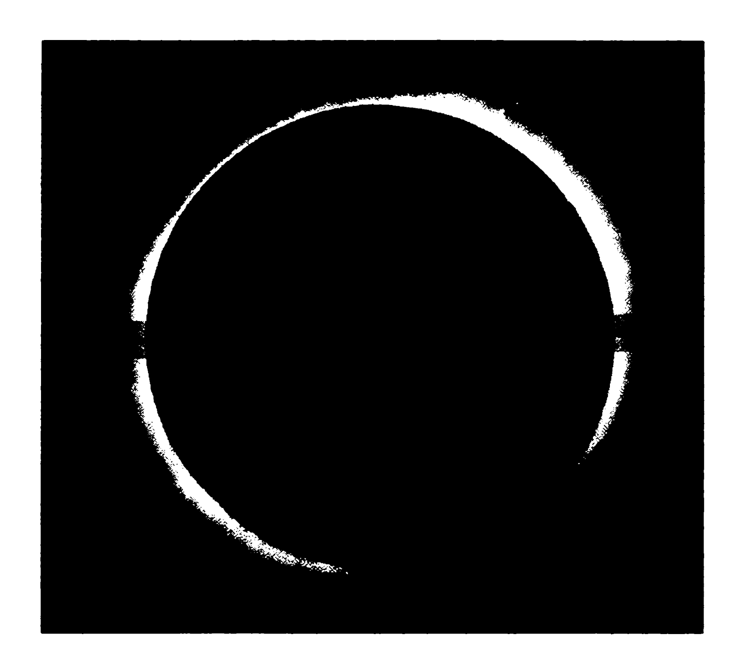


● اللوحة ٢: الأرض كنقطة زرقاء باهتة. التقط فويجر١ (Voyage 1) هذه الصورة في سنة ١٩٩٠م، وهو ينظر من ورائه إلى النظام الشمسي من على مسافة تقدر بنحو ٤ مليار ميل. تبدو الأرض مغمورة في إحدى الأشعة الشمسية المتناثرة على عدسة الكاميرا، بسبب الزاوية الصغيرة بين الأرض والشمس.

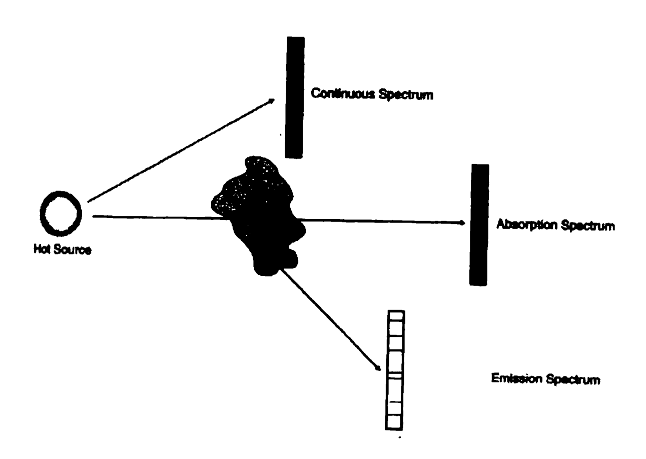




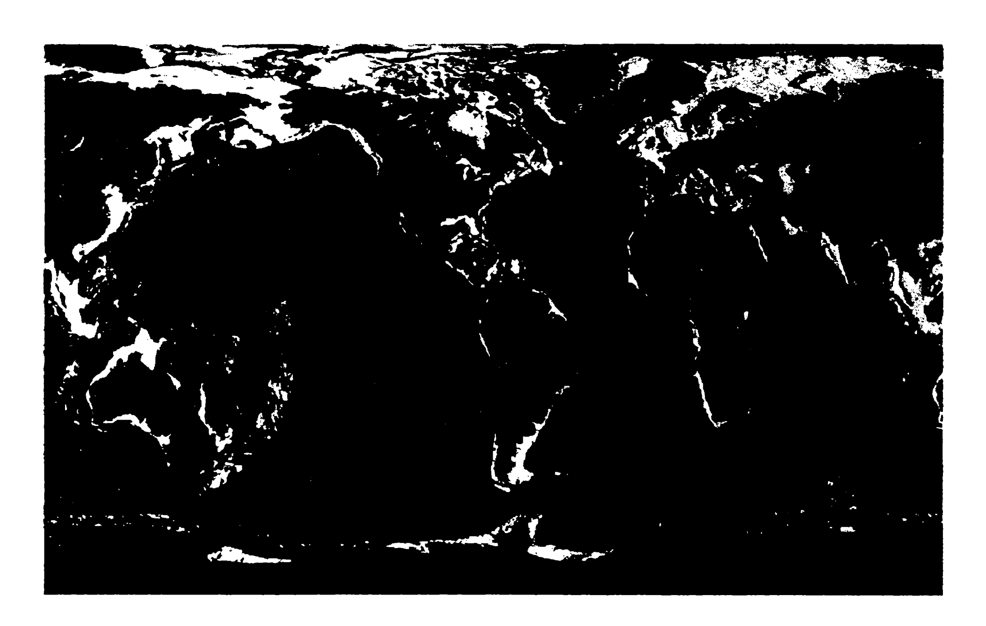
● اللوحة ٣: كسوفان شمسيان كليان. **الصورة الأولى** التقطت بتاريخ ٢٤ ديسمبر ١٩٩٥م، من نيم كا تانا في الهند. دمجت ست صور التقطت بفضل سرعات الغالق المختلفة للكشف عن التفاصيل الواضحة وغير الواضحة في غلاف الشمس. تأمل قرص الشمس الوردي وهو يطوق القرص القمري المظلم. كانت الأشرطة الإكليلية الطويلة مرئية بالعين المجردة. أما **الصورة الثانية** فهي عشر صور مركبة لكسوف ٢١ يونيو٢٠٠١م، الملتقطة من تشيسامبا، في زامبيا بأفريقيا. المظهر قليل التسطح للإكليل مقارنة بالكسوف السابق ناجم عن تغير الحقل المغناطيسي للشمس خلال دورة البقع الشمسية.



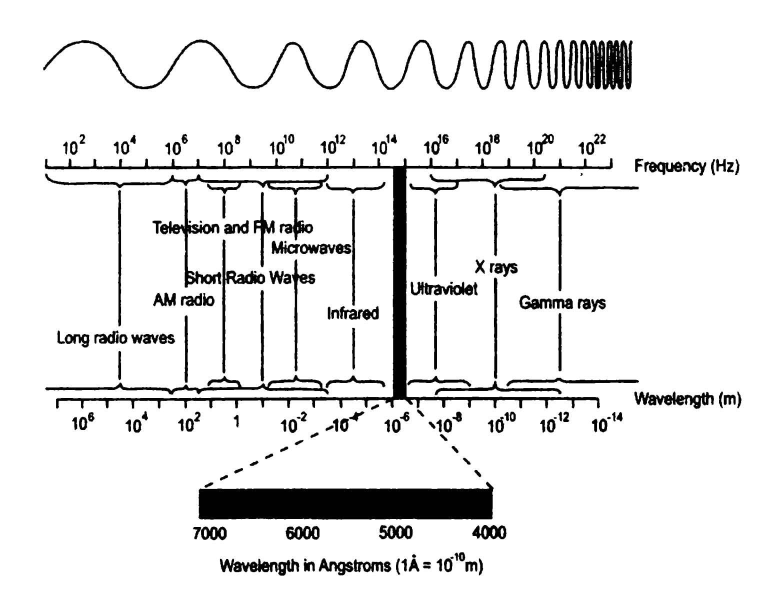
● **اللوحة ٤**: صورة ملونة للكسوف الكلي الذي التقط في ٢٤ أكتوبر ١٩٩٥م. يمثل القرص الرمادي الملصق بالصورة ضوء الشمس المحجوب، وعلامات الأسهم تشير إلى المجال البادي للعيان لأحجام القمر. لاحظ الإطار الخارجي الأسود لقرص القمر، والذي يحجب ضوء الشمس الساطع، كاشفاً عن من الهالة وبروزها.



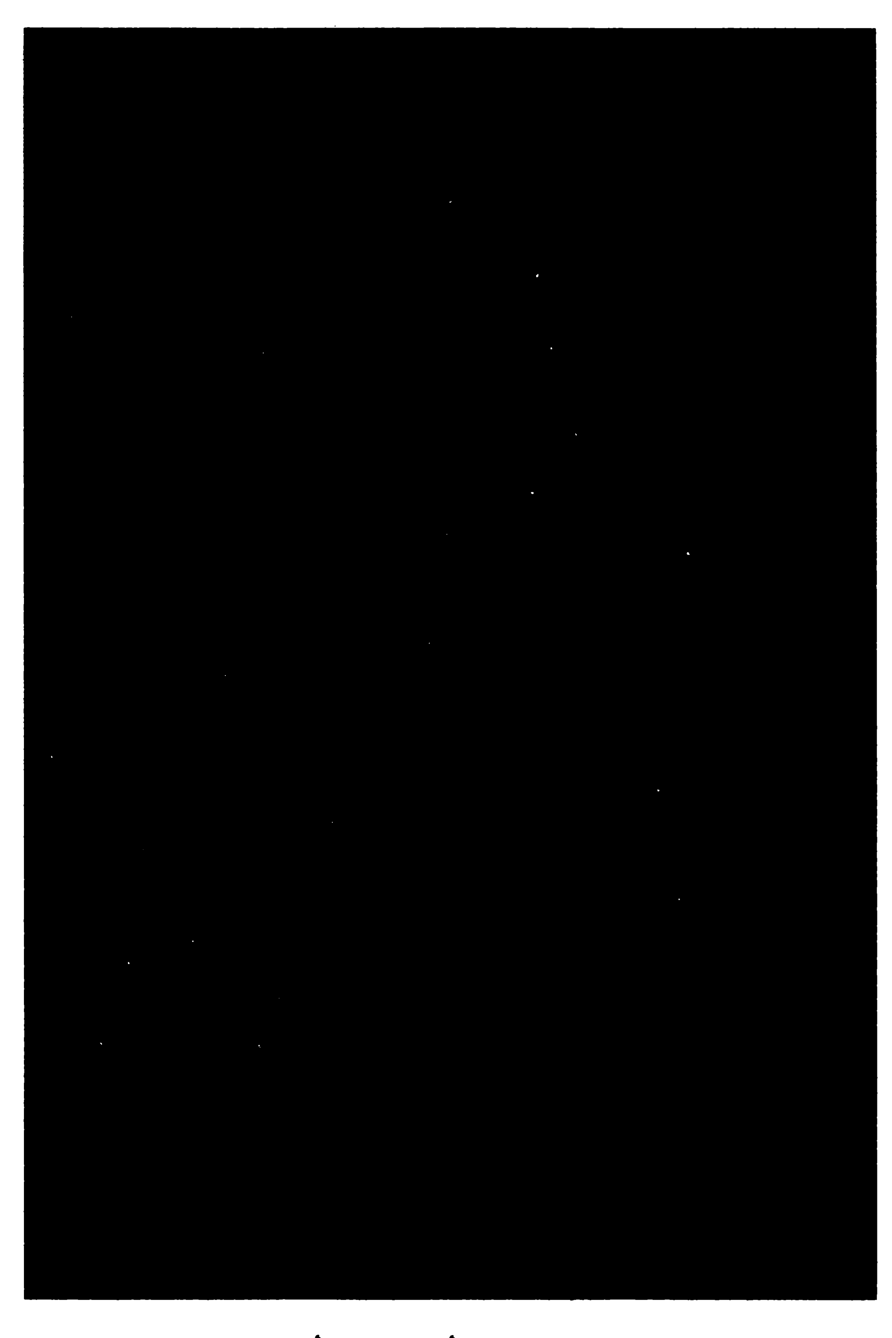
● **اللوحة ٥**: غوستاف كيرشوف هو أول من تعرف على الأنواع الأساسية للطيف. يبعث الجسم الكثيف الساخن طيفاً مستمراً. وإذا وضع غاز أبرد وأقل كثافة بينه وبين الملاحظ فإن ذرات الغاز ستعمل على تنحية الضوء بأطوال موجية معينة، مما ينتج عنه طيف امتصاص. وحين يُنظر إلى نفس الغاز من اتجاه مختلف (دون أن يكون مصدر الحرارة خلفه) فما يُنتج هو طيف الانبعاث.



● اللوحة ٦: العمر القشري لقاع البحر كما حددته القياسات المغناطيسية لعلوم المحيطات. لاحظ تناظر العصور على جانبي النتوءات الواقعة في منتصف المحيط. لقد أعدت هذه الخريطة في أغلبها من خلال القياسات المغناطيسية لعلوم المحيطات.



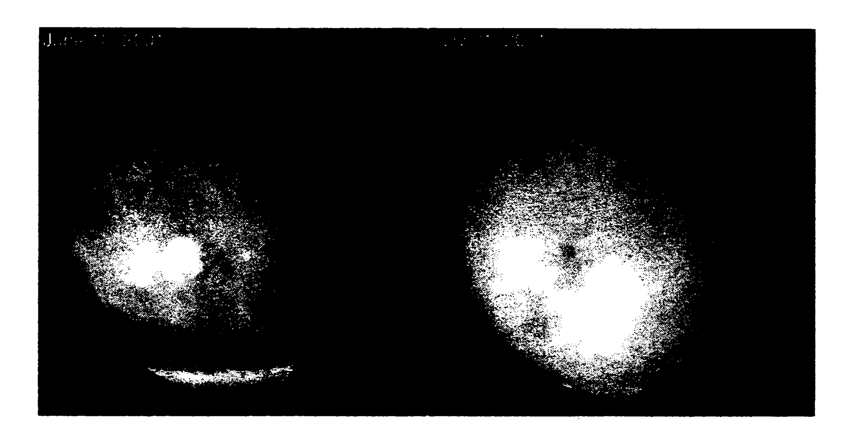
● اللوحة ٧: إن الغلاف الأرضي شفاف فتسمح بنفاذ شريط ضيق للضوء البصري والموجات الراديوية. الموجات الأقل طولاً ستبدو زرقاء، بينما ستبدو الأطول حمراء (تدعى هذه الصورة الطيف).



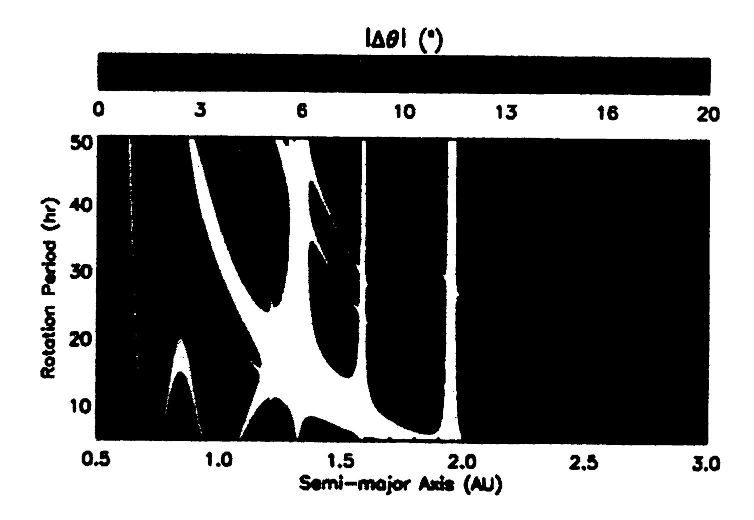
● اللوحة ٨: تسمح لنا شفافية الغلاف الأرضي برؤية الأجسام التي تقع وراءه بوضوح لافت. كما أن الغلاف أيضاً شفاف للمجال الراديوي للطيف الكهرومغناطيسي. يظهر هوائي التلسكوب الراديوي في مرصد فيك (Fick Observatory)، وسط ولاية أيوا مسدداً نحو خلفية الكوكبات الشمالية.



● اللوحة ٩: مذنب هيل ـ بوب كما شوهد من جبال واشنطن في الأول من إبريل سنة ١٩٩٧م. كان هيل-بوب مذنباً كبيراً، ولو أنه ضرب الأرض لأحدث موجة انقراض ضخمة.



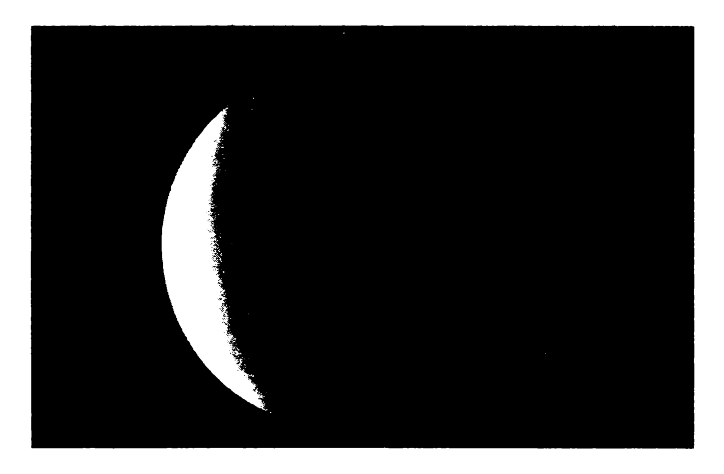
● اللوحة ١٠: (على اليسار) صورة للمريخ من مركبة Mars Global Surveyor قبل هبوب عاصفة رملية بقليل (على اليمين) صورة للمريخ بعد فترة وجيزة من تغطية العاصفة للكوكب بالكامل. استمرت قوة العاصفة في التصاعد خلال سبتمبر. تكفي عاصفة رملية واحدة لتغطية وجه المريخ عنا. وقد منعت عاصفة رملية شملت الكوكب في ١٩٧٣ المسبار مارينر٩ (٩Mariner) من مسح سطح المريخ لعدة أيام. واستقبلت عاصفة رملية أقوى مسبار أوديسي (Mars Odyssey) وذلك عند وصوله في أكتوبر ٢٠٠١م



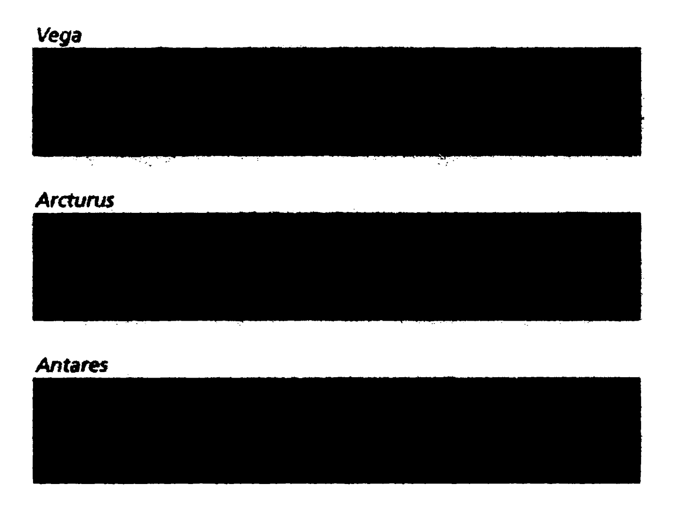
● اللوحة ١١: يختلف ميل الكوكب عن محوره لعدة عوامل منها البنية الداخلية للكوكب، وفترة الدوران، وبعده عن النجم المضيف، وكذا مواقع الكواكب الأخرى، بالإضافة إلى وجود قمر ضخم. يظهر في الشكل نتائج رقمية لتغير ات الانحراف المتوقعة للمريخ لتشكيلات مختلفة من زمن الدوران والبعد عن الشمس. المدة التي يقضيها المريخ هي ٢٤,٦ ساعة و١,٥٢ وحدة فلكية عن الشمس. تمثل المناطق البيضاء تغيرات أكبر من ٢٠ درجة. يندر استقرار توأم للمريخ مقارنة بالأرض (درجتان تقريباً) لقربها بمسافة ٢,٥ وحدة فلكية.



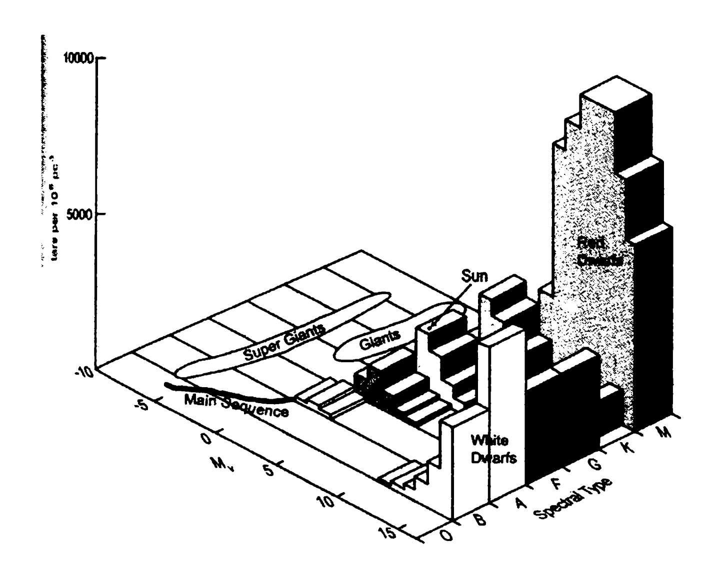
● **اللوحة ١٢**: يتلقى المشترى بعض الضربات عن النظام الشمسي. تظهر هذه الصورة المركبة عدة آثار ناتجة عن اصطدام مذنب شوميكر ليفي٩ (**Shoemaker-Levy٩**). تظهر الصور من أسفل اليمين إلى أعلى اليسار: غبار اصطدام بتاريخ ١٨ يوليو ١٩٩٤م (بعد ٥ دقائق تقريباً من الاصطدام)، وموقع اصطدام حديث بعد ساعة ونصف من وقوعه، وموقع الحادث بعد ثلاثة أيام من اصطدام **G** الأول وبعد ١,٣ يوماً من اصطدام **L**، والتغيرات اللاحقة لموقعي **L** و **G** بفعل الرياح، واصطدام إضافي (**S**) بالقرب من **G**، بعد خمسة أيام من اصطدام هذا الأخير. في غضون بضع سنوات اختفت جميع آثار الاصطدامات.



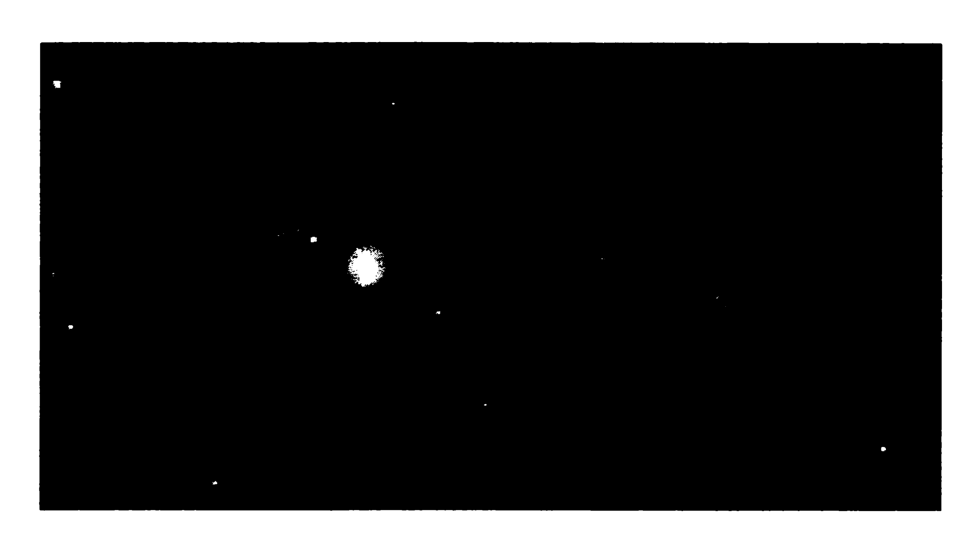
● **اللوحة ١٣**: أحد مراحل الخسوف الكلي للقمر بتاريخ ١٥ مايو ٢٠٠٣م، لاحظ الظل المنحني للأرض. استشهد أرسطو برصد الخسوف ليلاً كدليل على كروية الأرض.



● **اللوحة ١٤:** طيف منخفض الدقة لثلاثة نجوم ساطعة. قلب العقرب (**Antares**) نجم أحمر عملاق بارد جداً. تنتج الجزيئات الموجودة في غلافه الجوي موجات واسعة المعتمة في طيفه. النجم الأحمر العملاق الأكثر دفئاً أركتوروس (**Arcturus**) قليل المعادن، بالكاد تظهر خطوط الامتصاص في طيفه. النسر الواقع (**Vega**) هو نجم قزم. ذرات الهيدروجين في غلافه الجوي هي المسؤولة عن خطوط الامتصاص البارزة في طيفه.

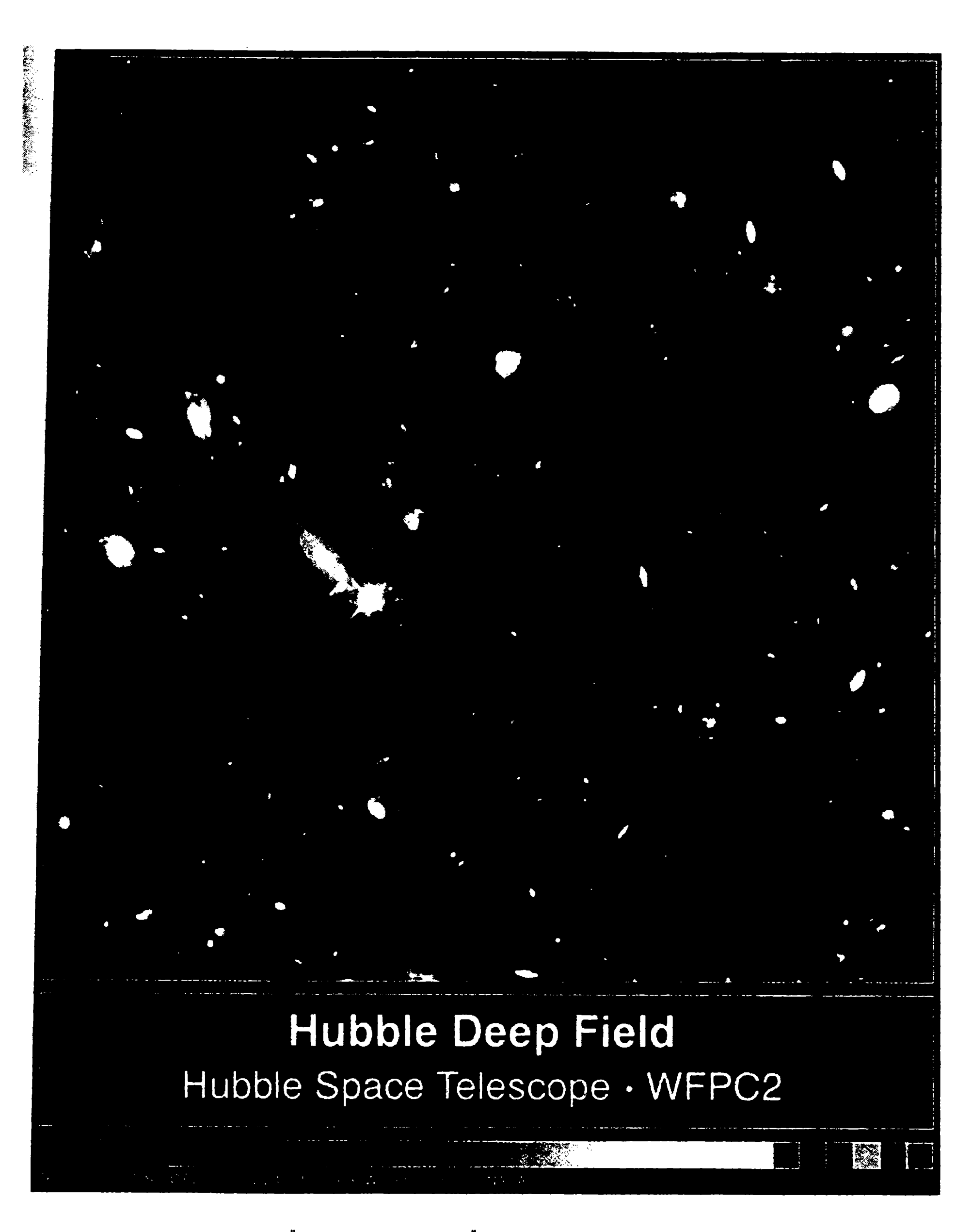


● **اللوحة ١٥:** كثافة الفضاء للنجوم القريبة على نطاق من الأنواع الطيفية. معظم النجوم أقزام حمراء معتمة، ويبعد ان تكون صالحة للحياة. الشمس واحدة من نوادر نجوم النسق الأساسي المضيئة.

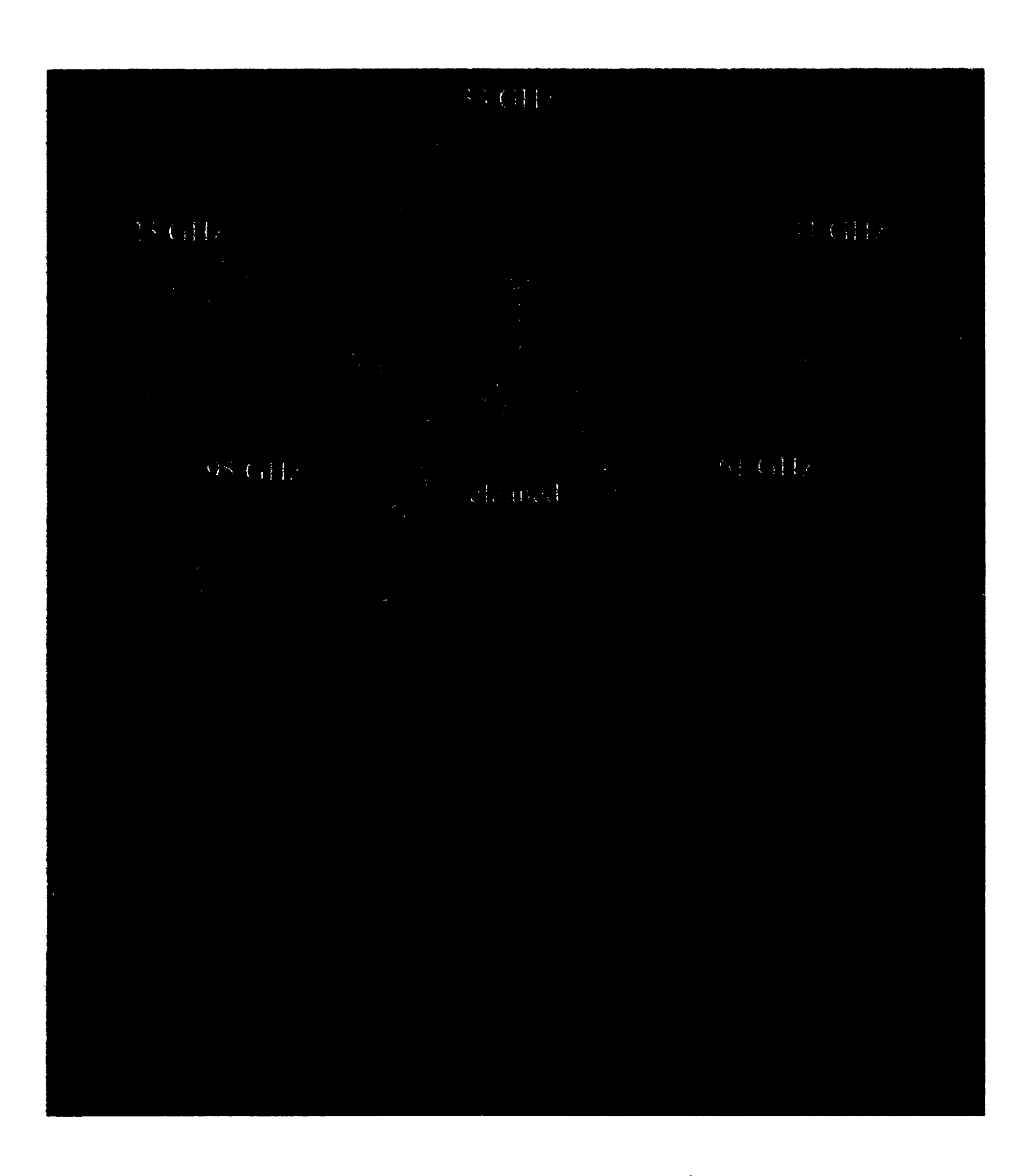


● **اللوحة ١٦:** صورة مرصد هابل للمجرتين المتراصفتين (**NGC**٢٢٠٧) و (**IC**٢١٦٣). أتاح زوج المجرات هذا وغيره من الأزواج الأخرى المماثلة من المجرات الحلزونية للفلكيين التحقق من أن الأذرع الحلزونية هي غبارية للغاية، في حين أن المناطق بين الأذرع شفافة في القرص الخارجي. لكنها تصبح مغبرة جدّاً بالاقتراب نحو مركز المجرة.

● **اللوحة ١٧:** النطاق المجري الصالح للحياة. يبين الرسم التوضيحي للموقع التقريبي الأماكن الأكثر صلاحية للحياة في المجرة. القرص الداخلي خطير جداً، ويفتقر الخارجي لما يكفي من العناصر الثقيلة التي يمكنها تشكيل كواكب بحجم الأرض، النطاق المجري الصالح للحياة ممثلة في أسفل اليسار.



● اللوحة ١٨: أول وأهم صورة لا تنسى لـ"مجال هابل العميق" تم التقاطها بواسطة هابل الفضائي عام ١٩٩٥م. تكشف هذه الصورة وفرة من المجرات البعيدة ،كما كانت موجودة قبل مليارات السنين.



● **اللوحة ١٩:** **(في الأعلى)** خرائط كاملة للسماء في تدرجات مختلفة في المنطقة المكروية من الطيف (الأحمر للساطع، الأزرق للباهت). يمثل الحزام الأفقي المعترض في الخرائط الخمس المستوى المجري. الخريطة النهائية "النظيفة" بعد إزالة الملوثات الأمامية ممثلة في الوسط. تعود الاختلافات المتبقية في السطوع إلى إشعاع الخلفية الكونية. **(في الأسفل)** خريطة بتردد ٤١ غيغاهيرتز (GHz) من الملوثات الأمامية المجرية المرمزة بالألوان: الإشعاع السنكروتروني بالأحمر، أشعة الانكباح (الجسيمات المشحونة المتفاعلة) بالأخضر، والغبار الحراري بالأزرق.